

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen



An **Hessen** führt kein Weg vorbei.

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen

Band 7 der Schriftenreihe
der Aktionslinie Hessen-Nanotech

Impressum

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen

Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie
Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums
für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Erstellt von:

Dr. Wolfgang Luther
VDI Technologiezentrum GmbH
Zukünftige Technologien Consulting
Graf-Recke-Straße 84
40239 Düsseldorf

Redaktion:

Dr. Rainer Waldschmidt
(Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung)
Alexander Bracht, Markus Lämmer
(Hessen Agentur, Hessen-Nanotech)

Herausgeber:

HA Hessen Agentur GmbH
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 774-8614
Telefax 0611 774-8620
www.hessen-agentur.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für
die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit
der Angaben. Die in der Veröffentlichung geäußerten
Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Mei-
nung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck -
auch auszugsweise - nur nach vorheriger
schriftlicher Genehmigung.

Gestaltung: WerbeAtelier Theißen, Lohfelden
Druck: ausDRUCK, Kassel

www.hessen-nanotech.de

1. Auflage: August 2007
2. Auflage: Januar 2008



ZAE Bayern

Abbildungen Cover
oben: Rensch-Haus GmbH
unten links und rechts: Evonik Degussa GmbH
unten mitte: ZAE Bayern

Inhalt

	Vorwort	2
	Warum eine Broschüre NanoBau?	4
1	Zusammenfassung	5
2	Nanotechnologien - eine Einführung	9
3	Innovationspotenziale der Nanotechnologien im Bauwesen	13
4	Nanotechnologieranwendungen im Bausektor	19
5	Praxisbeispiele aus Hessen	32
6	Forschungsprogramme, Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	40
7	Statements von Verbänden zu Nanotechnologien im Bauwesen	44
8	Anhang	50



Dr. Alois Rhiel

Hessischer Minister für
Wirtschaft, Verkehr und
Landesentwicklung

Innovative Nanotechnologien bieten nicht nur in Hightech-Bereichen, sondern gerade auch in konventionellen Industriezweigen wie dem Bausektor erhebliche Geschäftspotenziale. Nur über den kontinuierlichen Innovationsvorsprung durch stetig neue Produkte und Dienstleistungen werden heimische Unternehmen im harten Wettbewerb langfristig bestehen können. Hierbei soll diese Broschüre insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen eine Hilfestellung bieten.

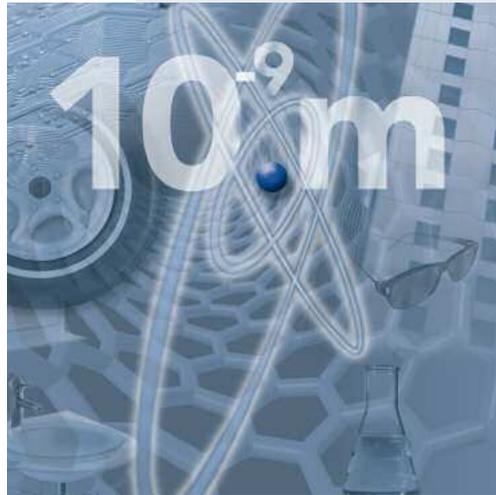
Der Bausektor gehört mit rund 1 Million Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von etwa 230 Mrd. € nach wie vor zu den wichtigsten Branchen in Deutschland. Erfreulicherweise konnte der seit Jahren zu verzeichnende Trend rückläufiger Umsatz- und Beschäftigtenzahlen im Bausektor im Jahr 2006 umgekehrt werden. Erstmals seit dem Jahr 2000 konnte die Bauindustrie mit einem Umsatzplus von 6,5% im Gesamtjahr 2006 wieder einen positiven Beitrag zum gesamtwirtschaftlichen Wachstum in Deutschland leisten. Aktuelle Prognosen für das Jahr 2007 gehen von einem erneut deutlichen Umsatzplus von 3,5% aus.

Auch für Hessen ist das Baugewerbe von zentraler Bedeutung. Ca. 5.800 überwiegend kleine und mittelständische Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten sind im Baugewerbe aktiv. Um den Aufschwung im Baugewerbe weiter zu verstärken und die Arbeitsplätze dort langfristig zu sichern ist es erforderlich, die Wettbewerbsfähigkeit der hei-

mischen Bauwirtschaft auch durch technologische Innovationen zu verbessern, die das Bauen schneller, flexibler, besser, nachhaltiger und kostengünstiger machen können.

Nanotechnologien haben das Potenzial, in der Bautechnik auf breiter Basis notwendige Innovationen voranzubringen. Das Spektrum der Nano-Anwendungen im Bauwesen reicht dabei von funktionalen Fassadenoberflächen, Brandschutzbeschichtungen, verbesserten Baustoffen und Isolationsmaterialien bis hin zu neuartigen Beleuchtungstechniken und effizienteren Solar- und Brennstoffzellen. Erhebliche Möglichkeiten bieten sich auch im Hinblick auf Maßnahmen zur Energieeinsparung, die nicht nur angesichts explodierender Energiekosten, sondern auch vor dem Hintergrund der drohenden Klimakatastrophe als eines der vorrangigsten strategischen Ziele ganz oben auf der politischen Agenda stehen.

Der Umsetzung nanotechnologischer Innovationen in die Praxis stehen gegenwärtig jedoch noch zahlreiche Hemmnisse entgegen. Angesichts des hohen Kostendruckes im Bauwesen werden Preisaufschläge und lange Entwicklungszeiten für innovative Technologien auf der Kundenseite kaum akzeptiert. Es bestehen hohe Anforderungen hinsichtlich Haltbarkeitsgarantien und Qualitätszertifikaten, die für neue nanotechnologische Produkte oftmals noch nicht nachgewiesen werden können. Umso erfreulicher ist es, dass eine Reihe hessischer



Unternehmen es bereits geschafft haben, Nano-Innovationen im Bauwesen erfolgreich auf den Markt zu bringen. Wandfarben, die durch nanoskalige Titandioxidpigmente Luftverunreinigungen beseitigen, nanobeschichtete Keramiktapeten als Ersatz herkömmlicher Fliesen, antibakterielle Holz-lacke auf Basis der Nanosilbertechnologie oder superisolierende Außenfassaden auf Basis von Aerogelen, sind hier nur ein Ausschnitt aus dem bestehenden Produktspektrum. Aber auch in der Nano-Forschung hat Hessen ausgeprägte Stärken, zum Beispiel in den Bereichen Betonbaustoffe, Photokatalyse oder innovativer Glasfassaden.

Um Nano-Innovationen in der Baubranche auf breiter Basis voranzubringen ist es jedoch notwendig, eine entlang der Wertschöpfungskette orientierte Vernetzung der Entwickler und Anwender neuer Technologien im Baubereich zu etablieren. Nur wenn alle Akteure aus der Wirtschaft, das sind in erster Linie die Hersteller von Baustoffen, die Bauindustrie und die Handwerksbetriebe, aber auch die Wissenschaft sowie die privaten und öffentlichen Investoren und Förderer an einem Strang ziehen, werden sich die großen Potenziale der Nanotechnologien im Bauwesen voll entfalten und Innovationen erfolgreich in Hessen in die Praxis umgesetzt werden können. Eine wichtige Aufgabe ist in diesem Zusammenhang auch der Abbau von Informationsdefiziten bei Kunden, Architekten und Bauingenieuren hinsichtlich der neuen Möglichkeiten,

die Nano bei der Konzeption und Gestaltung von Bauwerken eröffnen kann. Hier liegt die Herausforderung in einem angemessenen Marketing und der frühen und offenen Kommunikation von Chancen und Risiken mit Anwendern und Kunden.

Mit der vorliegenden Broschüre will das Hessische Wirtschaftsministerium einen Beitrag leisten, um den Branchendialog in Hessen und darüber hinaus zu initiieren und zu fördern. Ich bin der Überzeugung, dass die Nanotechnologien gerade auch im Baubereich große Zukunftspotenziale für hessische Unternehmen bieten werden. Damit dies gelingt, lade ich Sie herzlich dazu ein, sich am Dialog zu beteiligen und daran mitzuwirken, dass aus der „Nano-Chance“ ein nachhaltiges Geschäft für den hessischen Bausektor entsteht.

Dr. Alois Rhiel
Hessischer Minister für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung

Warum eine Broschüre NanoBau?

Die vorliegende Broschüre NanoBau richtet sich an Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Bereich der Nanotechnologien ebenso wie alle an der Wertschöpfung beteiligten Akteure im Bauwesen - vom Planungsbüro über die Bauindustrie bis zum innovativen Handwerksbetrieb in Hessen. Für den Leser mag sich hierbei zunächst die Frage stellen, inwiefern ein Hochtechnologiebereich wie die Nanotechnologien mit einem traditionellen, oftmals als konservativ bezeichneten Wirtschaftszweig wie dem Bausektor zusammenhängt.

Zur Beantwortung dieser Frage muss man sich zunächst vor Augen führen, dass die Nanotechnologien für ein ganzes Bündel innovativer Technologieansätze und Produktionsverfahren stehen, die langfristig ein grundsätzlich neues Verständnis von Materialeigenschaften und Möglichkeiten zum gezielten Design hochleistungsfähiger Werk- und Baustoffe liefern werden. Nanotechnologische Materialinnovationen können dadurch zu erheblichen Fortschritten in der Bautechnik beitragen, die sich in vielfältiger Weise unmittelbar auch auf unser Alltagsleben auswirken werden. Dies gilt für die Qualität der Verkehrsinfrastruktur ebenso wie für die Qualität der Umfeldbedingungen am Arbeitsplatz und im privaten Wohnbereich, die durch Innovationen im Bauwesen ganz wesentlich verbessert werden können. Darüber hinaus bestehen gewaltige Einsparungspotenziale hinsichtlich des Material- und Energieverbrauches, die durch effizientere Verfahren und Technologien in der Herstellung und Nutzung von Gebäuden nicht nur in Deutschland, sondern weltweit realisiert werden könnten.

Es gibt daher viel zu gewinnen, wenn wir in der Lage sind Innovationen aus dem Hochtechnologiebereich der Nanotechnologien für den Baubereich zu adaptieren und möglichst schnell in marktgängige Anwendungen umzusetzen. Chancen bieten sich gerade auch für Unternehmen und Handwerksbetriebe in Hessen, an die sich die Broschüre in erster Linie richtet. Der hoch entwickelte Stand der Nanotechnologien in Hessen kann dazu genutzt werden, aussichtsreiche Marktpotenziale in Teilbereichen der über 230 Mrd. Euro Bauvolumen pro Jahr allein in Deutschland zu erschließen. Aber auch für Handwerksbetriebe, Planungsbüros und die Bauindustrie in Hessen bietet sich die Gelegenheit, sich durch Nanotechnologie-Innovationen einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen und durch neue hochwertige bautechnische Erzeugnisse und architektonische Designlösungen eine erhöhte Kundennachfrage zu generieren. Für den gesamten Bausektor besteht die Chance, sich durch innovative Technologieentwicklungen aus der Nano-Welt als Zukunftsbranche sowohl in der Öffentlichkeit als auch für potenzielle Nachwuchskräfte zu präsentieren. Der Schwung der sich wieder belebenden Baukonjunktur in Deutschland sollte jetzt für den Einstieg in einen langfristig ausgerichteten Strukturwandel im Bausektor genutzt werden, hin zu intelligenteren und nachhaltigeren Produktlösungen und Dienstleistungen. Die vorliegende Broschüre wird zahlreiche Beispiele geben, wie Nanotechnologien dazu beitragen können und wie hessische Unternehmen und Forschungsinstitutionen davon profitieren können bzw. bereits in führender Rolle an der Umsetzung von Innovationen engagiert sind.



1 Zusammenfassung

Die Nanotechnologien ermöglichen die gezielte Manipulation und technische Nutzung winziger Objekte und Strukturen, die millionenfach kleiner als ein Stecknadelkopf sind. Durch dieses nanotechnologische Know-how lassen sich außergewöhnliche Materialeigenschaften und Funktionalitäten erzielen, die Potenziale für Produktinnovationen in fast allen

Technikfeldern und Wirtschaftsbranchen eröffnen. Für eine Vielzahl wichtiger Industriebranchen wie Automobilbau, Chemie, Pharma, Informationstechnik oder Optik wird die künftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte wesentlich von der Erschließung des Nanokosmos abhängen.

Selbstreinigende Fassadenelemente Umweltverträgliche Brandschutzmittel Schmutzabweisende, antibakterielle Wandfarben	Hocheffizienter Wärme- und Schallschutz Keramische Folien als Wandbelag	Schaltbare Glasfassaden OLED-Beleuchtung Funktionsoptimierte Asphaltmischungen Korrosionsbeständiger Hochleistungsbeton	Ultrastabile Leichtbau-Konstruktionsstoffe	Bautechnik
Korrosionsschutzschichten Optimierte Batterien/Akkus Verschleißschutz für mechanische Bauteile Abgaskatalysatoren	Nanomembranen zur Trinkwassergewinnung Preiswerte großflächige Solarzellen Photokatalytische Luft- und Wasserreinigung Sensorische Umweltüberwachung	Künstliche Photosynthese Ressourcenschonende Produktion durch Selbstorganisation Mikrobrennstoffzellen	Nanosensor-Netzwerke	Umwelt/ Energie
Schmutzabweisende Textilien Superisolierende Thermobekleidung Duftimprägnierte Kleidung Antibakterielle Wäsche	Kleidung mit integrierter Unterhaltungselektronik Aktive Wärmeregulierung UV-geschützte Fasern	Überwachung von Körperfunktionen Aktive Bewegungsunterstützung Ultraleichte Schutzwesten		Textil
Carbon Black Polymerdispersionen Mikronisierte Wirkstoffe Nano-Kieselsäure Easy-To-Clean-Schichten	Nano-Schichtsilikate Dendrimere Aerogele Nanopigmente Polymere Nanokomposite	Kohlenstoffnanoröhren Schaltbare Klebstoffe Organische Halbleiter Quantenpunkte Künstliche Spinnenseide	Selbstheilende Werkstoffe Selbstorganisierende Werkstoffe Hocheffiziente Wasserstoffspeicher Nanoreaktoren	Chemie
Reifenfüllstoffe Nanobeschichtete Dieselinjektoren Antibeschlagschichten Antireflexschichten für Displays Kratzfeste Lacke	Magnetoelektronische Sensoren Nanokomposite als Leichtbauwerkstoffe Polymerverschleißungen Nanopartikel als Kraftstoffzusatz Optimierte Brennstoffzellen	Dünnsolarzellen für Autodächer Ferrofluid-Stoßdämpfer Thermoelektrische Abwärmennutzung	Schaltbare Lacke Adaptierbare Außenhaut	Automobil- bau
Festplatten mit GMR-Lesekopf Siliziumelektronik < 100 nm Polymerelektronik z.B. für Funketiketten	Phase-Change-Speicher Ferroelektrische Speicher Funketiketten Magnetoelektronische Speicher Kohlenstoffnanoröhren-Feldemissionsdisplays	„Millipede-Speicher“ Spintronik	DNA-Computing Molekularelektronik	Elektronik
Weißer LED Ultrapräzisionsoptiken Kratzfeste Brillengläser Nahfeldoptiken für die Nanoanalytik	Optische Mikroskope mit Nanoauflösung Organische Leuchtdioden (OLED) Quantenpunkt-Laser	Photonische Kristalle EUV Lithographie-Optiken Quantenkryptografie	All-Optical-Computing	Optische Industrie
Antimikrobielle Beschichtungen Biosensoren Nanoskalige Kontrastmittel Nanopartikel zum Wirkstofftransport	Nano-Krebstherapie (Hyperthermie) Nanopartikel als Markerstoffe Lab-on-a-chip-Systeme	Neuro-Kopplung Biokompatible Implantate Intelligente Drug Delivery-Systeme Theranostics	Molekulare Krebsfrüherkennung Tissue Engineering	Medizin

Verbreitung am Markt

Markteintritt

Prototyp

Konzept

0-5 Jahre

5-10 Jahre

10-15 Jahre

Beispiele für Anwendungsoptionen und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen in verschiedenen Wirtschaftsbranchen (VDI TZ GmbH)

Die Nanotechnologien eröffnen dabei neue Marktchancen durch die Realisierung kleinerer, schnellerer, leistungsfähigerer und „intelligenterer“ Systemkomponenten für neue Produkte mit deutlich verbesserten und zum Teil gänzlich neuartigen Funktionalitäten. Obwohl bereits viele Produkte mit nanotechnologischen Komponenten auf dem Markt etabliert sind, wird ein Großteil der nanotechnologischen Erkenntnisse erst in einigen Jahren, teilweise sogar erst in Jahrzehnten in Produkte umgesetzt werden können.

Nanotechnologien für „added value“ im Bauwesen

Auch in einem konventionellen und im Hinblick auf lange Produktzyklen und hohe Sicherheitsanforderungen eher konservativen Wirtschaftszweig wie dem Bauwesen bieten die Nanotechnologien eine Vielzahl von Potenzialen für die Optimierung von Verfahren und Materialien in Bezug auf Funktionalität, Werterhaltung, Sicherheit, Design, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz. Für viele dieser Anforderungen im Bauwesen halten die Nanotechnologien innovative Lösungen parat und generieren dadurch einen Mehrwert für den Kunden.

Aussichtsreiche Marktpotenziale werden sich vor allem in den Bereichen Energietechnik (z. B. Photovoltaik und Brennstoffzellentechnologie), thermische Isolation (z. B. Dämmstoffe und Phasen-Wechselspeicher), Anstriche/Beschichtungen (z. B. Korrosionsschutz, antibakterielle Wirkung), multifunktionale Glasfassaden und zementgebundene Baustoffe (z. B. Ultrahochfester Beton) ergeben.

Herausforderungen für die kommerzielle Umsetzung

Erste Nanotechnologie-Anwendungen befinden sich bereits in der kommerziellen Umsetzung. Während sie z. B. bei Bauwerken aus ultrahochfestem Beton annähernd kostenneutral sind, stehen sie in anderen Bereichen in einem harten Preis-Leistungs-Wettbewerb gegenüber Konkurrenzlösungen. Angesichts des hohen Kostendruckes im Bauwesen werden Preisaufschläge und lange Entwicklungszeiten für innovative Technologien auf der Kundenseite kaum akzeptiert. Weiterhin bestehen hohe Anforderungen hinsichtlich Haltbarkeitsgarantien und Qualitätszertifikaten, die für neue nanotechnologische Produkte oftmals nicht nachgewiesen werden können.

Um eine hohe Kundenakzeptanz zu erzielen ist es notwendig, Nanotechnologie-Innovationen bis zu einem hohen Reifegrad zu entwickeln. Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Zulassung für innovative nanotechnologische Bauprodukte im Rahmen der Richtlinien der Bauproduktengesetzgebung (in Hessen gilt hier die Hessische Bauordnung HBO § 16 ff.) sollten frühzeitig in Betracht gezogen und mit dem Deutschen Institut für Bautechnik (DiBT) abgestimmt werden. Dadurch können zum einen das Risiko von Folgeschäden durch fehlerhafte Technologien minimiert und zum anderen auch die Exportchancen von Bauprodukten für hessische Baustoffhersteller verbessert werden. Um langfristig Kundenvertrauen zu generieren, werden Praxisbeispiele und Pilotprojekte für nanotechnologische Anwendungen eine wichtige Rolle einnehmen. Weiterhin von Bedeutung ist eine ausreichende Information und Schulung der Baurealisierer (u. a. Bauindustrie und Architekten) hinsichtlich der Möglichkeiten und dem fachgerechten Umgang mit neuen Werkstoffen und Technologien.

Für einen erfolgreichen Technologietransfer ist die frühzeitige Einbindung möglichst aller Akteure der Wertschöpfungskette (Kunde, Geldgeber, Architekten- und Ingenieurkammern, Versicherer, Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Regulierer) von zentraler Bedeutung. Neben dem Engagement aus der Wissenschaft und der Industrie wird auch ein abgestimmtes Handeln der öffentlichen Hand als Förderer, Regulierer und Auftraggeber eine Schlüsselrolle für die Umsetzung nanotechnologischer Innovationen im Bausektor einnehmen.



Das Spektrum der möglichen Nanotechnologie-Anwendungen umfasst nahezu sämtliche Bereiche des Bauwesens:

Zementgebundene Baustoffe

Im Bereich des Massiv- und Rohbaus bieten die Nanotechnologien in erster Linie Möglichkeiten zur Optimierung zementgebundener Baustoffe. So lässt sich die Festigkeit von Beton um bis zum Zehnfachen steigern, wenn man die partikulären Zementbestandteile im Nano- und Mikrobereich optimiert. Solche Ultrahochleistungsbetone sind nicht nur besonders tragfähig, sondern auch wesentlich korrosionsbeständiger als Normalbeton. Die Dauerhaftigkeit und das Tragverhalten von textillbewehrtem Beton lassen sich durch Glasfaser- und Grenzschichtdesign mit nanostrukturierten Polymeren deutlich verbessern. Betonbauteile zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung können so mit geringeren Abmessungen und mit geringerem Gewicht hergestellt werden bei gleicher oder sogar besserer Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit. Durch die Verwendung nanoskaliger Zementzusatzstoffe kann die Verarbeitung von Spritzbeton optimiert oder die Säureresistenz von Beton erhöht werden, um dadurch Kosten zu sparen und umweltbelastende Stoffe zu vermeiden. Die Weiterentwicklung von Betonbaustoffen im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit erfordert zunehmend ein Verständnis der Strukturen auf der Nanoskala, um Phänomene wissenschaftlich basierend vorherzusagen und gezielt optimieren zu können.

Außen- und Dachfassaden

Außen- und Dachfassaden von Gebäuden sind durch Witterungseinflüsse und Abgase oftmals hohen Belastungen hinsichtlich Korrosion und Verschmutzung ausgesetzt. Allein die Bauschäden, die durch anhaftende Mikroorganismen auf Fassadenoberflächen verursacht werden, liegen in Deutschland in einer geschätzten Größenordnung von jährlich ca. 2-4 Mrd. Euro. Weiterhin muss die Gebäudehülle vor Kälte, hohen Temperaturschwankungen und Lärm schützen und den Anforderungen an das Gebäudedesign genügen. Die Nanotechnologien bieten zahlreiche Ansatzpunkte zur Gestaltung multifunktionaler Fassadensysteme durch optimierte Baustoffe, Anstriche und Beschichtungen. Beispielsweise lassen sich Isolations- und Dämmstoffe durch nanoporöse Materialien deutlich verbessern. Auf Kieselsäure basierende Aerogele und nanoporöse Polymerschäume ermöglichen hoch effiziente Wärmedämmschichten mit deutlich verminderter Dicke

und bieten somit das Potenzial für erhebliche Energie-, Material- und Platzeinsparungen bei der Gestaltung von Außenfassaden. Das Verschmutzen von Fassadenflächen kann durch nanotechnologische Beschichtungen und Anstriche aufgrund von selbstreinigenden Eigenschaften z. B. für Dachziegel und Außenfassadenfarben deutlich reduziert werden. Generell lässt sich durch die Beimischung spezieller Nanopartikel in Dispersionen und Beschichtungsmaterialien eine Funktionalisierung von Fassadenflächen erzielen, wie z. B. eine hohe Abriebbeständigkeit, ein permanenter Schutz vor ultravioletter oder Infrarotstrahlung, antimikrobielle Eigenschaften oder neuartige dekorative Farbeffekte. In Zukunft könnten darüber hinaus großflächige Beschichtungen mit Titandioxid-Nanopartikeln auf Fassaden, Dächern und Verkehrsflächen durch den photokatalytischen Abbau von Luftschadstoffen aktiv zum Umweltschutz beitragen.

Fenster und Verglasungen

Die Eigenschaften von Glas lassen sich durch nanoskalige Beschichtungen je nach Anforderungsprofil in einem breiten Spektrum optimieren. Beispiele hierfür sind Antireflexeigenschaften durch nanoporöse Siliziumdioxid-Beschichtungen, eine schaltbare Tönung von Glasscheiben als Sonnenschutz durch elektrochrome oder photochrome Beschichtungen, eine Verbesserung der Wärmedämmung durch Infrarot reflektierende Silber-Nanoschichten sowie Selbstreinigungseffekte durch superhydrophile Titandioxidbeschichtungen. Eine innovative Entwicklung sind „aktive Lichtlenkfenster“, die auf Mikrospiegelmodulen bestehen und zwischen den Scheiben konventioneller Isolierverglasungen implementiert werden. Diese beweglichen Mikrospiegel können je nach Bedarf Licht gezielt in die Raumtiefe lenken oder störendes Blendlicht reflektieren und sorgen somit für eine optimierte Tageslichtausleuchtung und Wärmeregulation in Gebäuden. Durch nanotechnologische Entwicklungen lassen sich somit die Einsatzbereiche von Verglasungen z. B. für Glassfassaden in der Gebäudetechnik deutlich erweitern und gleichzeitig Energie einsparen.



■ Energie- und Beleuchtungstechnik

In der Energietechnik bieten nanotechnologische Innovationen Ansatzpunkte für Energieeinsparungen und verbesserte Möglichkeiten der regenerativen Energieerzeugung. Nanostrukturierte Katalysatoren und Membranen sorgen für Effizienzsteigerungen in der Brennstoffzellentechnologie. Mittlerweile stellen Brennstoffzellenmodule auf Basis der Hochtemperatur- oder Schmelzkarbonattechnologie eine marktreife Alternative für eine dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung in Gebäuden mit sehr hohen energetischen Wirkungsgraden und geringen Kohlendioxidemissionen dar. Der Bereich der Photovoltaik profitiert ebenfalls von nanotechnologischen Innovationen. Farbstoffsolarzellen auf Basis farbstoffdotierter Titandioxid-Nanopartikel weisen mittlerweile Wirkungsgrade von ca. 10 % auf. Als flexible und transparente Module bieten Farbstoffsolarzellen neue Möglichkeiten im Design in der Gebäudetechnik, beispielsweise für Glasfassaden. Anwendungen der Nanotechnologien im Bereich der Beleuchtungstechnik betreffen in erster Linie die Entwicklung und den Einsatz energieeffizienter LED auf Basis anorganischer und organischer Halbleitermaterialien. Die LED-Technik bietet aufgrund der kompakten Bauweise und der variablen Farbgestaltung neue Möglichkeiten im Design der Beleuchtungstechnik und ist in einigen Bereichen bereits etabliert, z. B. für Akzentbeleuchtungen, Beleuchtung von Aufzügen und Rolltreppen oder Fassadenbeleuchtungen. Die derzeit noch wenig ausgereiften organischen Leuchtdioden bieten das Potenzial für großflächige Beleuchtungsflächen und Bildschirme auf flexiblen Substraten, die sich in vielen Bereichen der Innenausstattung integrieren ließen.

■ Brandschutz

Nach Angaben der Versicherungswirtschaft liegen die Gebäudeschäden durch Brände in Deutschland in einer Größenordnung von ca. 1,5 Mrd. Euro pro Jahr. Durch Nanotechnologien bieten sich verschiedene Ansatzpunkte für die Entwicklung neuartiger Brand- und Flammschutzmittel mit optimiertem Eigenschaftsprofil bzw. als Ersatz für umweltbelastende Stoffe, z. B. durch die Anwendung von Nanopartikeln als brandhemmende Zusatzstoffe in Polymeren. Ebenso finden Brandschutzbeschichtungen und Bindemittel für Naturbaustoffe auf Basis anorganischer Nanokomposite sowie Nano-Silicagele für Brandschutzverglasungen bereits Anwendung. Im Holzbau sorgen nanotechnologische Anwendungen für eine längere Haltbarkeit oder einen verbesserten Brandschutz durch spezielle Imprägniermittel und Beschichtungen.

■ Inneneinrichtung

Die Nanotechnologien bieten eine Fülle von Möglichkeiten, die Oberflächeneigenschaften von Einrichtungsgegenständen, Wand- und Bodenbelägen funktional oder ästhetisch zu verbessern. Ein Beispiel sind flexible Keramikfolien, die als Fliesenersatz beispielsweise im Sanitär- und Küchenbereich eingesetzt werden können und durch nanotechnologische Beschichtungstechnik mit speziellen Eigenschaften (UV-Resistenz, Easy-to-clean, Kratzbeständigkeit etc.) ausgestattet werden können. Andere Beispiele sind UV-stabile und kratz feste Versiegelungsschichten für Bodenparkett, nanoskalige Glasbeschichtungen für Antifingerprinteigenschaften von Edelstahlarmaturen oder auch neuartige dekorative Farbeffekte. Photokatalytisch wirksame Beschichtungen und Anstriche helfen, Gerüche zu vermeiden und Schadstoffe in Innenräumen zu beseitigen. Eine antimikrobielle Ausrüstung von Möbeln und Fassadenelementen lässt sich durch nanoskalige Silberpartikel erzielen, die fein verteilt in Lacken und Wandfarben dispergiert werden. Durch die Freisetzung von Silber-Ionen werden Bakterien hochwirksam abgetötet. Anwendungsgebiete für diese antimikrobiellen Anstriche und Lacke bieten sich vor allem für Inneneinrichtungen von Arztpraxen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, wo eine besonders große Gefahr für bakterielle Infektionen besteht.

■ Infrastrukturbau

Der Infrastrukturbau von Verkehrs-, Ver- und Entsorgungsanlagen nimmt in Deutschland ein Investitionsvolumen von ca. 100 Mrd. Euro ein. Durch den Einsatz nanotechnologisch verbesserter Baustoffe ließen sich in diesem Bereich erhebliche wirtschaftliche Einsparungen erzielen, z. B. durch korrosionsbeständige und hochfeste Betonbaustoffe, Schutzschichten gegen Korrosion, Ablagerungen und Anhaftungen (z. B. für Kühltürme und Rohrleitungen) oder optimierte Straßenbeläge mit einer längeren Haltbarkeit.

■ Außenanlagen

Die Gestaltung von Außenanlagen kann durch Nanotechnologie beispielsweise durch Nanobeschichtungen von Bodenplatten und Natursteinen zum Schutz vor Schmutzablagerungen oder Korrosion profitieren. Ein weiteres Beispiel sind nanostrukturierte Wasserspeichermaterialien, die von dem Frankfurter Unternehmen Geohumus kommerziell vermarktet werden und zur Einsparung von Wasser u.a. bei Dachbegrünungen sowie im Garten- und Sportanlagenbau eingesetzt werden.

2 Nanotechnologien – eine Einführung

Weltweit finden die Nanotechnologien zunehmend öffentlich Beachtung und werden als eines der wichtigsten Innovationsfelder bezeichnet. Dabei stellen die Nanotechnologien weniger Basistechnologien im klassischen Sinne mit eindeutig abgrenzbarer

Definition dar, sondern beschreiben vielmehr eine neue interdisziplinäre und branchenübergreifende Herangehensweise für weitere Fortschritte in der Elektronik, Optik, Biotechnologie oder bei neuen Materialien.

2.1 Definition der Nanotechnologien

In den Nanotechnologien nutzt man zum einen das Konstruieren mit den elementaren Einheiten der belebten und unbelebten Natur, nämlich die Atome und Moleküle, vergleichbar dem Basteln mit einem Lego-Baukasten („bottom-up-Ansatz“). Zum anderen stellt man aber auch durch Verkleinerung Strukturen her, welche nur noch ein Tausendstel eines Haardurchmessers messen („top-down-Ansatz“). Diese Aufgabe ist vergleichbar mit der Herausforderung, das gesamte Straßennetz Deutschlands maßstabsgetreu auf einen Fingernagel zu schreiben – und zwar fehlerfrei. Nanotechnologische Verfahren sind dabei teilweise nicht grundlegend neu, sondern oftmals Weiterentwicklungen bewährter Produktions- und Analysetechniken.

Nano-Effekte wurden vereinzelt sogar schon im Mittelalter genutzt, etwa bei der Rotfärbung von Kirchenfenstern durch fein verteilte Goldkolloide oder die Härtung von Damaszener-Stahl von Säbelklingen durch Kohlenstoffnanoröhren, ohne sich dabei über die physikochemischen Grundlagen bewusst zu sein. Das Wesentliche bei den Nanotechnologien von heute ist daher die kontrollierte Nutzung nanoskaliger Strukturen, das Verständnis der auf der molekularen Ebene geltenden Gesetzmäßigkeiten und die daraus abgeleiteten technologischen Verbesserungen im Material- und Komponentenbereich.

Bei der Definition der Nanotechnologien gibt es noch keine international einheitliche Sichtweise. Speziell die Frage der Abgrenzung zur Mikrotechnologie, zu bestehenden chemischen und biotechnologischen Prozessen wird über die Erläuterung von Beispielen verdeutlicht.

„Nanotechnologien beschreiben die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. Entscheidend ist dabei, dass allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen resultieren. Diese neuen Effekte und Möglichkeiten sind überwiegend im Verhältnis von Oberflächen- zu Volumenatomen und im quantenmechanischen Verhalten der Materiebausteine begründet.“

2.2 Nano-Effekte als Basis für Produktinnovationen

Nanomaterialien besitzen im Vergleich zu gröber strukturierten Materialien drastisch veränderte Eigenschaften, die physikalische, chemische und biologische Stoffcharakteristika betreffen. Physikalische Materialeigenschaften eines Festkörpers wie elektrische Leitfähigkeit, Magnetismus, Fluoreszenz, Härte oder Festigkeit ändern sich fundamental mit der Anzahl und der Anordnung der wechselwirkenden Atome, Ionen oder Moleküle. Anders als in makroskopischen Festkörpern können Elektronen in einem Nanocluster nur ganz bestimmte „quantisierte“ Energiezustände einnehmen, die von der Anzahl der wechselwirkenden Atome beeinflusst werden. Hieraus ergeben sich beispielsweise sehr charakteristische Fluoreszenzeigenschaften, die stark mit der Größe des Clusters variieren. So fluoresziert ein 2 nm großer Cadmiumtelluridpartikel grünes Licht, ein 5 nm großer Partikel hingegen rotes Licht.

Auch chemische Materialeigenschaften hängen sehr stark von der Anordnung und Strukturierung der elementaren Materiebausteine ab. Durch Nanostrukturierung lässt sich in der Regel eine deutlich erhöhte chemische Reaktivität erzielen, da Materialien bei einer Aufteilung in nanoskalige Substrukturen ein stark vergrößertes Verhältnis von reaktiven Oberflächenatomen zu reaktionsträgen Teilchen im Inneren eines Feststoffes aufweisen. In einem Partikel mit einem Durchmesser von 20 nm befinden sich beispielsweise ca. 10% der Atome an der Oberfläche, in einem 1 nm großen Partikel beträgt der Anteil der reaktiven Oberflächenatome bereits 99%.

In der Biologie spielen Nanomaterialien ebenfalls eine entscheidende Rolle, da nahezu alle biologischen Prozesse von nanoskaligen Strukturbausteinen wie Nukleinsäuren, Proteinen etc. gesteuert werden. Der Aufbau komplexer biologischer Systeme wie Zellen und Organe erfolgt hierbei nach dem Prinzip der Selbstorganisation, wobei einzelne Moleküle auf Basis chemischer Wechselwirkungen und molekularer Erkennungsmechanismen zu größeren Einheiten zusammengesetzt werden.

Durch Nanostrukturierung ergeben sich somit neuartige Möglichkeiten für ein intelligentes Materialdesign, bei dem gewünschte Materialeigenschaften kombiniert und für den jeweiligen technischen Anwendungszweck gezielt angepasst werden können.

Beispiele und Anwendungen für nanotechnologisch einstellbare Materialeigenschaften

Chemisch

- Easy-To-Clean-Eigenschaften von Oberflächen durch nanopartikuläre Beschichtungsmaterialien
- Gezielte, selektive Löslichkeit von medizinischen Wirkstoffen und Lebensmittelzusatzstoffen
- Effizientere Abgaskatalysatoren in Automobilen durch vergrößerte Katalysatoroberflächen und dadurch geringeren Edelmetallverbrauch
- Leistungsfähigere Batterien und Akkumulatoren durch höhere spezifische Elektrodenoberflächen

Mechanisch

- Verbesserte Kratzfestigkeit von Lacken durch keramische Nanopartikel
- Verbesserte Steifigkeit von Sportgeräten durch Zusatz von Nanopartikeln
- Erhöhte Gasdichtigkeit von Lebensmittelverpackungen durch Zusatz von Nanopartikeln oder Nanobeschichtungen

Optisch

- Spezielle Farbeffekte bei Farben und Lacken (z. B. Interferenzpigmente)
- Transparenter UV-Schutz in Kosmetika, Textilien oder Möbeln
- Spezifische Absorptions- und Fluoreszenzeigenschaften bei Sicherheitspigmenten und medizinischen Schnelltests
- Antireflexeigenschaften bei Displays und Anzeigen

Biologisch

- Antibakterielle Eigenschaften von Gebrauchsgegenständen durch Silbernanopartikel
- Erhöhte Durchlässigkeit für physiologische Barrieren (Zellmembranen, Blut-Hirn-Schranke etc.) in Medikamenten
- Erhöhte Biokompatibilität durch Nanostrukturierung von Knochenersatzmaterialien, Wundverschlüssen

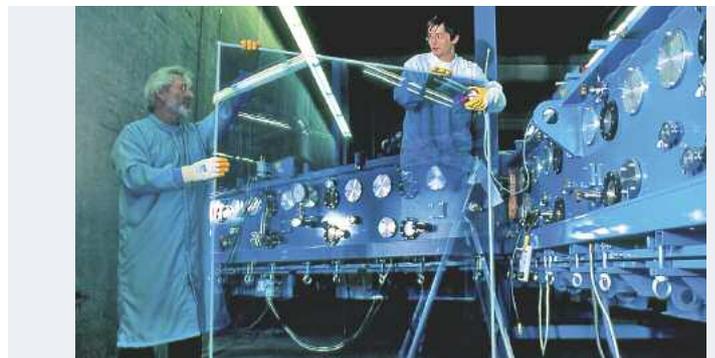
2.3 Internationaler Stand der Nanotechnologie

Die Investitionen im Bereich der Nanotechnologien summieren sich mittlerweile weltweit auf annähernd 10 Mrd. \$ pro Jahr, wobei die öffentlichen und privatwirtschaftlichen Investitionen mit ca. 4,6 Mrd. \$ bzw. 4,5 Mrd. \$ sich ungefähr die Waage halten. Hinzu kommen ca. 500 Mio. \$ an Venture Capital Investment (Stand 2005, Quelle: Lux Research 2006). In Bezug auf die privatwirtschaftlichen Investitionen liegen die USA an der Spitze, dicht gefolgt von Asien und deutlich vor Europa. Hinsichtlich der öffentlichen Investitionen zählt Europa (Europäische Kommission und Mitgliedstaaten) jedoch mit ca. 1,3 Mrd. \$, die USA (Bundesebene und Bundesstaaten) mit ca. 1,2 Mrd. \$ sowie Japan mit ca. 750 Mio. \$ zu den weltweit führenden drei Regionen in der Nanotechnologie. Allerdings verstärken weitere Staaten, insbesondere in Südostasien, China und Indien, ihr Engagement erheblich und schließen rasch auf. Dieses enorme staatliche Engagement wird getrieben von hohen Erwartungen hinsichtlich des volkswirtschaftlichen Nutzens in Form von Umsätzen und Arbeitsplätzen, die unmittelbar an nanotechnologische Entwicklungen gekoppelt sind.

Deutschland hat im internationalen Vergleich eine gute Position in der Nanotechnologie. Hinsichtlich der öffentlichen F&E-Ausgaben und der Patentanmeldungen in der Nanotechnologie liegt Deutschland weltweit auf Platz 3. Bei nanowissenschaftlichen Publikationen lag Deutschland in den letzten Jahren ebenfalls an 3. Position, ist aber mittlerweile durch China auf Platz 4 verdrängt worden. Zu den Stärken Deutschlands zählen die gut ausgebaute F&E-Infrastruktur und das hohe Niveau von Forschung und Entwicklung in verschiedenen Teilbereichen der Nanotechnologie, wie den Bereichen Nanooptik, Nanomaterialien, Nanoanalytik und der Nanobiotechnologie. Ebenso ist mit derzeit über 600 Unternehmen, die sich mit der Entwicklung, Anwendung und dem Vertrieb nanotechnologischer Produkte befassen, die industrielle Basis für die Verwertung der Forschungsergebnisse vorhanden. Hessen zählt mit knapp 100 Unternehmen innerhalb Deutschlands zu den stärksten Regionen in der wirtschaftlichen Nanotechnologie-Umsetzung.

In vielen Wirtschaftszweigen liefert nanotechnologisches Know-how bereits heute entscheidende Beiträge zur wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit – dies insbesondere in den Massenmärkten der Elektronik, der Chemie und der Optischen Industrie. Mittel- bis langfristig wird die Nanotechnologie auch in den Bereichen Automobilbau, den Life Sciences und klassischen Industriezweigen, wie der Bau- und Textilindustrie, einen erheblichen kommerziellen Einfluss entfalten.

Obwohl die enorme wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie als Schlüssel- und Querschnittstechnologie unbestritten ist, lässt sich das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie kaum quantifizieren. Dies liegt u. a. daran, dass die Nanotechnologie als „enabling technology“ in der Regel relativ früh in der Wertschöpfungskette ansetzt, d. h. bei der Optimierung von Komponenten / Zwischenprodukten, z. B. durch nanoskalige Beschichtungen oder nanostrukturierte Werkstoffe. Diese Komponenten machen in der Regel nur einen geringen Anteil an den fertigen Endprodukten (Konsum- und Investitionsgüter) aus. Der Marktwert der nanotechnologischen Komponenten an der Wertschöpfung des Endproduktes ist dabei oftmals nicht exakt zu bestimmen. Ohne Anwendung nanotechnologischer Verfahren und Komponenten wären Produkte in vielen Industriezweigen jedoch häufig nicht konkurrenzfähig (z. B. Festplattenspeicher, Computerchips, Ultrapräzisionsoptiken etc.).



Auch im Bausektor trägt die Nanotechnologie bereits in verschiedenen kommerziellen Produkten zur Wertschöpfung bei. Hessischen Unternehmen und Handwerksbetrieben werden sich künftig aussichtsreiche Marktpotenziale und Wachstumschancen durch nanotechnologische Innovationen ergeben. Durch verbesserte nanotechnologische Produkte werden innovative Firmen die Chance erhalten, konventionelle Technologien aus dem Markt zu drängen, neue Märkte durch neuartige Produkte zu erschließen, Exportchancen durch einen Innovationsvorsprung zu verbessern und teilweise sogar völlig neue Wertschöpfungsstrukturen zu generieren.

Allein in Deutschland beträgt das jährliche Bauvolumen über 230 Mrd. Euro. Direkt von der Nanotechnologie beeinflusste Märkte umfassen nahezu den gesamten Baustoffbereich wie Isolationsmaterialien, Architekturglas, zementgebundene Baustoffe, Fassadenbeschichtungen, Farben und Lacke. Ein aussichtsreicher Markt ist hier beispielsweise der Bereich thermische Gebäudeisolierung, der nach Prognosen von Frost & Sullivan allein in Europa von 2.5 Mrd. Euro in 2005 auf 2.9 Mrd. Euro in 2012 ansteigen wird – auch aufgrund steigender regulatorischer Anforderungen hinsichtlich des Klimaschutzes. Nanomaterial basierte Produkte haben hier eine große Chance konventionelle Produkte wie Glaswolle zu substituieren.

Ein noch größerer Markt ergibt sich im Flachglasbereich mit einem Weltmarktvolumen von ca. 15 Mrd. Euro für unveredelte Flachglas-Rohprodukte und ca. 42 Mrd. Euro für veredelte Spezialgläser, wie Isolierfenster, Automobilscheiben oder Displayabdeckungen. Die Wertschöpfung für Veredelungstechnologien wie den Nanotechnologien ist hier besonders attraktiv, wobei im Bausektor Wachstumsraten im Flachglasbereich von jährlich ca. 5 % prognostiziert werden.¹

Der Weltmarkt für Bauchemikalien hat derzeit eine Größe von rund 13 Mrd. Euro, wächst pro Jahr um vier bis fünf Prozent und ist geprägt von relativ konjunkturrobusten Margen und einem hohen Innovationspotenzial.² Der Anteil der Nanotechnologie in den genannten Märkten wird in den nächsten Jahren deutlich ansteigen. So wird sich nach Prognosen der Freedonia Group der Umsatz nanotechnologischer Produkte im Bauwesen allein in den USA von derzeit 20 Mio. \$ auf über 100 Mio. \$ im Jahr 2011 verfünffachen.³

Zusätzlich zu den direkt adressierten Märkten werden die Nanotechnologien durch Baustoffinnovationen auch eine wirtschaftliche Hebelwirkung auf nachfolgenden Stufen der Wertschöpfungskette wie

der Bauindustrie, der Handwerksbetriebe und auch der Bauplaner ausüben. Nanotechnologie-Innovationen könnten z. T. sogar völlig neue Wertschöpfungsstrukturen schaffen, wie beispielsweise im Bereich keramischer Fliesen als Wand- und Bodenbeläge. Die Degussa hat hier mit der keramischen Fliesentapete ein Produkt in den Markt eingeführt, das althergebrachte Material- und Produktionsketten von Grund auf ändern könnte. Hier bieten sich aussichtsreiche Substitutionschancen auch im Exportbereich bei einem weltweiten Verbrauch von über 500 Mio. Tonnen Keramikfliesen pro Jahr, wobei die größten Produzenten aus China, Italien, Spanien und Brasilien kommen.⁴

1 Quelle: glasstec
www.glasstec-online.com/
cipp/md_glasstec/custom
/pub/content,lang,1/oid,
3527/ticket,g_u_e_s_t
Abruf 20.2.2007

2 Quelle: BASF 2006
www.rp-online.de/
public/article/aktuelles/
244471
Abruf 28.2.2007

3 Quelle: Freedonia
Group: Nanotechnology
in Construction,
Market Report, Mai
2007 www.freedonia-
group.com

4 Quelle: BFAI 2006
www.bfai.de/fdb-SE,
MKT20060104084050,
Google.html
Abruf 1.3.2007

Selbstreinigende
Scheiben
und
Fensterprofile

Schmutzabweisende
oder selbstreinigende
Fassadenflächen

Hocheffiziente
Fassadendämmung

Keramische
Folien als
Wandbelag

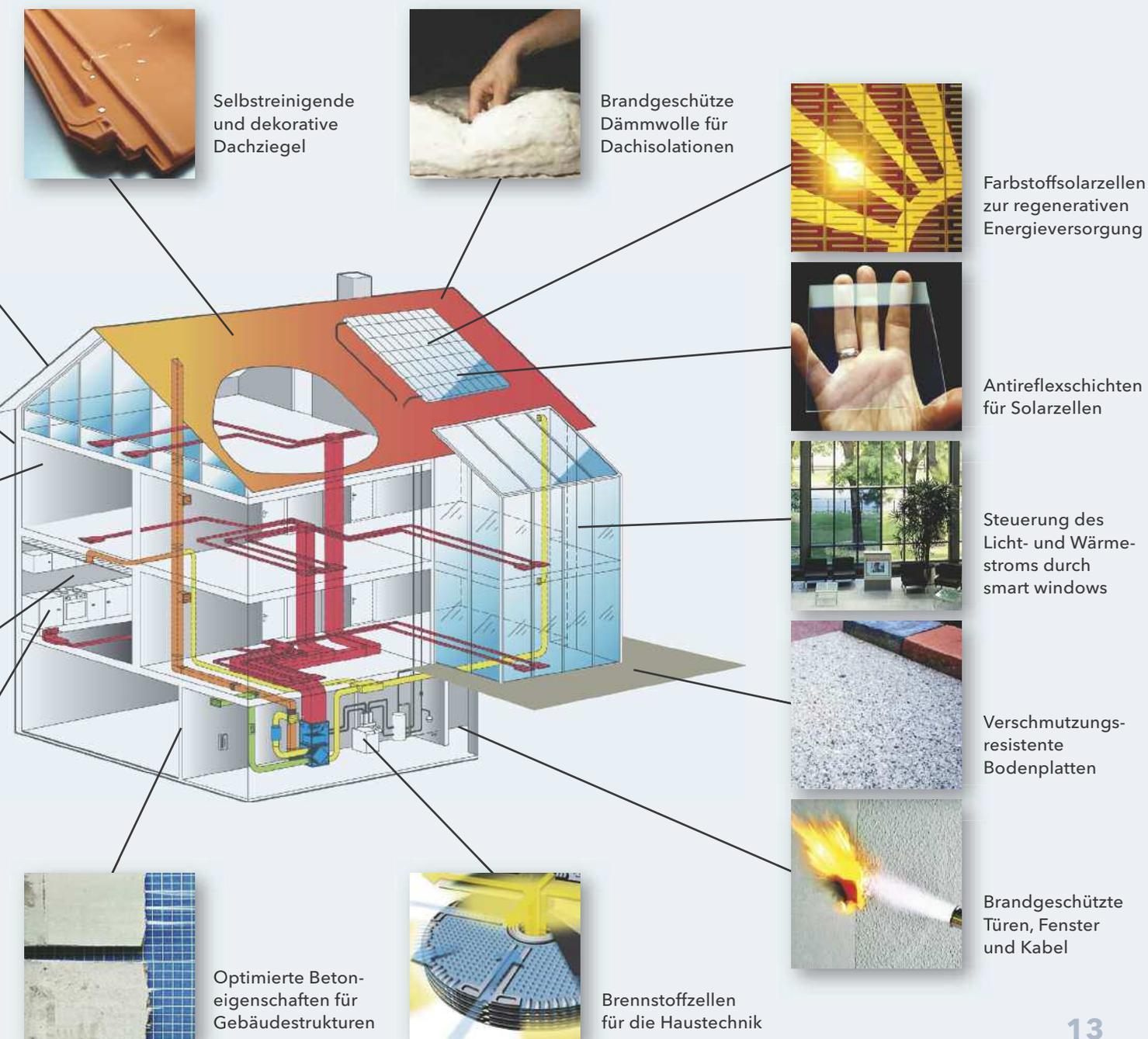
Antifingerprint und
antibakterielle
Eigenschaften für
Armaturen und Möbel

3 Innovationspotenziale der Nanotechnologien im Bauwesen

Die Nanotechnologien bieten als Schlüssel- und Querschnittstechnologien eine Fülle von Möglichkeiten, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Bauwirtschaft durch technologische Innovationen zu stärken, die das Bauen schneller, flexibler, besser, nachhaltiger und kostengünstiger machen können. Die Anwendungsmöglichkeiten umfassen nahezu alle Bereiche des Bauwesens vom Rohbau, der Fassadengestaltung, der Haustechnik bis zur Innenausstattung. Auch der Infrastrukturbau von Energieanlagen, Straßen, Brücken und Kanälen kann wesentlich von nanotechnologischen Innovationen profitieren.

Die Kontrolle von Materialeigenschaften auf der Nanoskala und die damit verbundenen physikochemischen Effekte ermöglichen die Herstellung hochleistungsfähiger und multifunktionaler Baustoffe, die einen Mehrwert hinsichtlich der architektonischen Gestaltungsfreiheit, des Gebrauchsnutzen, des Designs, der Haltbarkeit und Qualität, aber auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit im Bauwesen bietet. Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht zum Anwendungsspektrum.

Das „Nanohaus“:
Überblick zu Anwendungsbeispielen der Nanotechnologien im Hausbau
(Quellen: SCHRAG GmbH, VDI TZ)



3.1 Anforderungen im Bauwesen

Der Bausektor in Deutschland war in den letzten Jahren einer andauernden Rezession ausgesetzt, die einen tiefgreifenden Strukturwandel erforderlich macht. Das Bauwesen wurde lange Zeit nicht durch eine Qualitätsdifferenzierung und technologische Innovationen, sondern fast ausschließlich durch einen Kostenwettbewerb dominiert. Angesichts sich dramatisch wandelnder Wettbewerbsbedingungen und in einem gesellschaftlichen Umfeld, das durch einen demografischen Wandel, wachsende Klimaschutzanforderungen und einen stärker werdenden internationalen Konkurrenzdruck geprägt ist, kann die deutsche Bauwirtschaft langfristig nur durch mehr Innovationen und eine ständige Anpassung an die Kundenanforderungen bestehen.

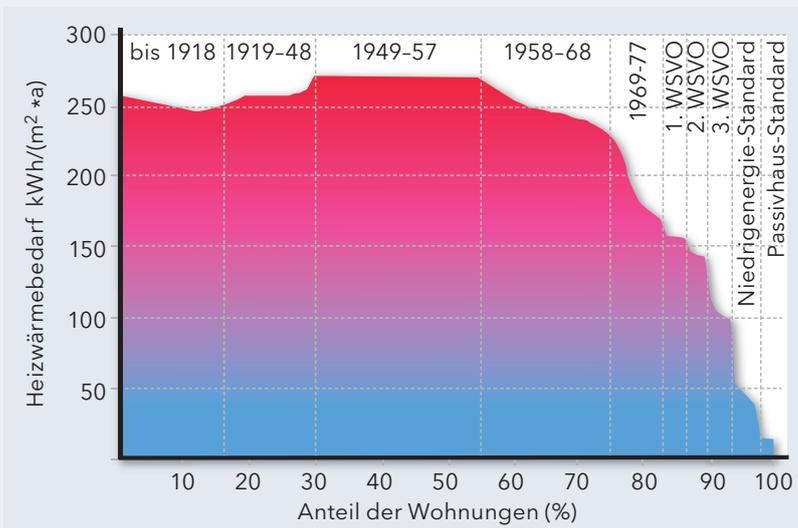
Als eine der größten Herausforderungen im Baubereich in den nächsten 5 bis 10 Jahren wird die Sanierung des Bestandes an Wohnungs- und Gewerbegebäuden in Deutschland hinsichtlich der Energieeffizienz angesehen. Ca. 80 % des Gebäudebestandes hat einen mehr als doppelt so hohen Heizwärmebedarf als nach der aktuellen Wärmeschutzverordnung für Neubauten zulässig ist.

Dementsprechend hoch ist der Bedarf nach effizienteren Energiemanagement- und Wärmedämmsystemen sowie einer optimierten und möglichst regenerativen Energieversorgung (z. B. Photovoltaik).

Als weitere Herausforderungen, denen sich das Bauwesen in Zukunft stellen muss, sind beispielsweise zu nennen:

- Funktionsintegration und Werterhalt von Gebäudeteilen, z. B. multifunktionale Fassaden, die optimale Temperatur- und Lichtverhältnisse ermöglichen und gleichzeitig vor Korrosion, Pilzbefall oder Vandalismus geschützt sind
- Erfüllen von steigenden Kundenanforderungen (Customer Convenience) im Hinblick auf Design und Wohnkomfort sowie die Beseitigung von Störeinflüssen wie Verschmutzung, Lärm, Feuchtigkeit oder unangenehmen Gerüchen
- Neue städtebauliche Anforderungen infolge des demographischen Wandels, der Verkleinerung der durchschnittlichen Haushaltsgrößen sowie neuer Wohnformen und Trends (z. B. altersgerechtes Wohnen)
- Sicherheitsorientiertes Bauen durch zunehmende Gefahr durch Umwelt-, Kriminalitäts- oder Terrorereignisse
- Einsparung von Rohstoffen und Energie bei der Baustoffproduktion sowie der Konstruktion und dem Betrieb von Wohn- und Infrastrukturbauten
- Aus- und Weiterbildung müssen als Innovationsvoraussetzungen wieder einen deutlich höheren Stellenwert erhalten
- Zunehmende Internationalisierung bei regional stark unterschiedlichen Regulierungen und Markterfordernissen

Die Nanotechnologien könnten wesentliche Beiträge leisten, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ein positives, innovatives Leitbild für die Baubranche zu schaffen und in das Bewusstsein einer breiteren Öffentlichkeit zu rücken als Voraussetzung für zukünftige wirtschaftliche Erfolge.

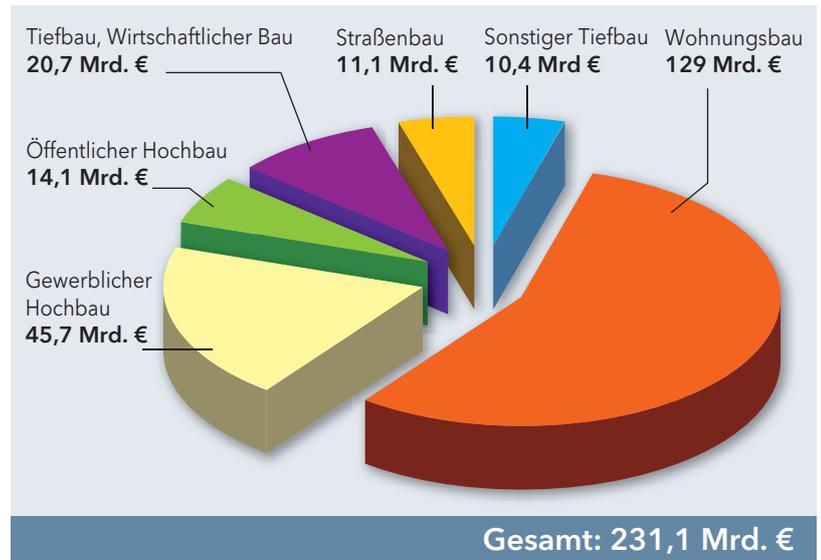


Heizwärmebedarf des Wohngebäudebestandes in Deutschland (Quelle: FhG-ISE)

3.2 Märkte und Wertschöpfungsketten

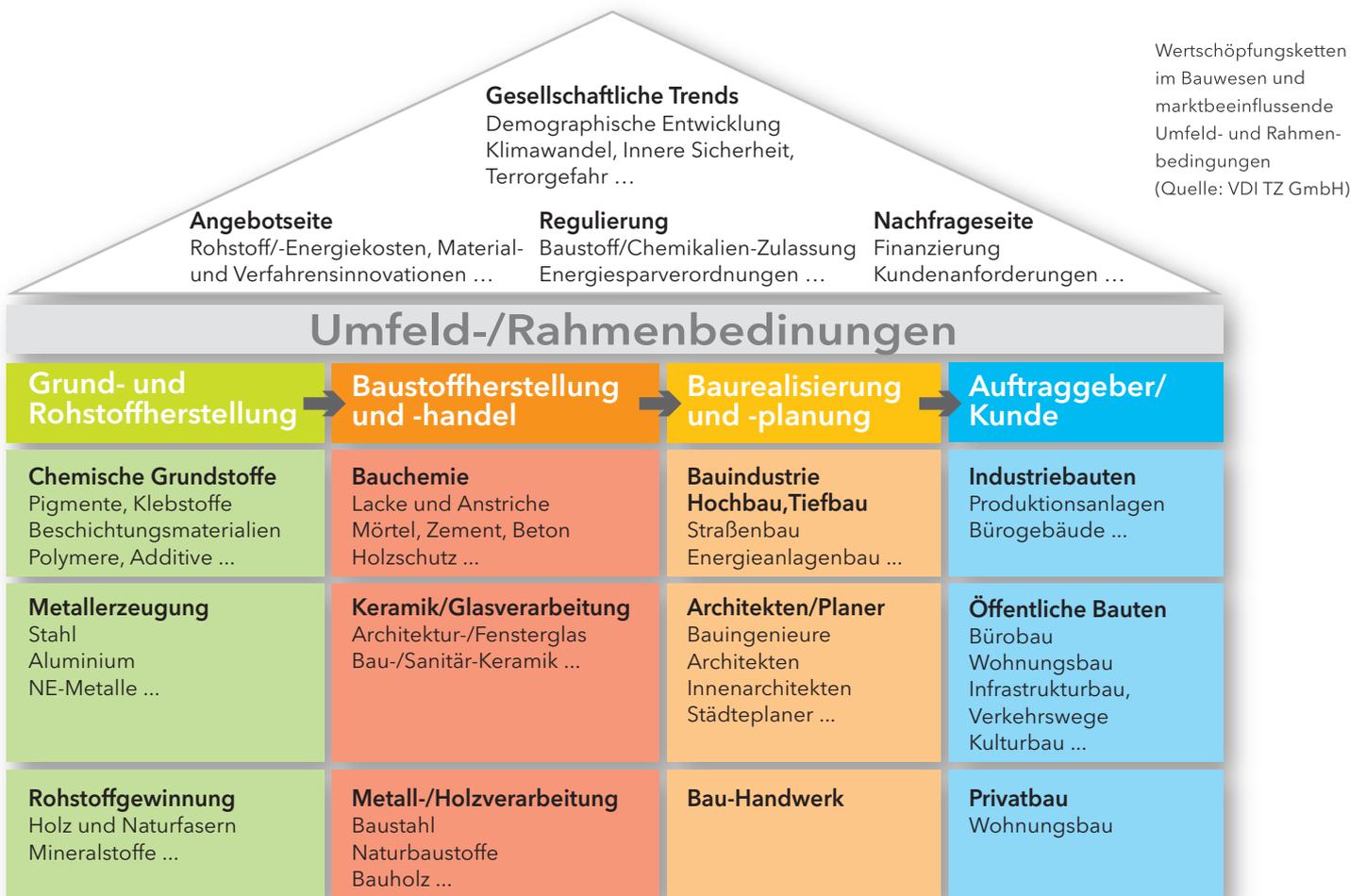
Die Bauindustrie ist einer der global wichtigsten Industriesektoren der Welt mit ausgeprägten regionalen Eigenheiten. In der globalen Bauindustrie werden laut einer Studie von PricewaterhouseCoopers 10 % des weltweiten Bruttosozialproduktes von 7 % aller Beschäftigten erbracht. Der Baustoff Beton ist das vom Volumen her größte von Menschen produzierte Wirtschaftsgut weltweit überhaupt. Das jährliche Bauvolumen in Deutschland liegt bei ca. 230 Mrd. Euro und mehr als eine Million Menschen sind hierzulande im Bausektor beschäftigt. Ca. die Hälfte des Bauvolumens machen mittlerweile Bauerhaltung und Sanierungsmaßnahmen aus.

Wichtig für eine erfolgreiche Umsetzung nanotechnologischer Innovationen ist eine hohe Vernetzung aller Akteure der komplexen Wertschöpfungskette im Baubereich. Diese umfasst neben der Herstellung von Grund-, Roh- und Baustoffen, dem Handel, der Baurealisierung und -planung auch die Kundenseite (öffentliche und private Auftraggeber) sowie den Finanzsektor (Versicherungen, Kreditgeber) und die öffentliche Hand (Forschung und Regulierung). Innovationen im Bauwesen erfordern ein abgestimmtes Handeln und frühzeitige Einbindung möglichst aller



relevanten Partner unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Regulierung sowie aktueller gesellschaftlicher Trends und Entwicklungen auf der Angebots- und Nachfrageseite, um zu vermeiden, dass marktreife Produkte an Vorschriften oder zu stark kurzfristig orientiertem Kostendenken scheitern.

Bauvolumen nach Baubereichen in Deutschland im Jahr 2004 (Quelle: BBR)



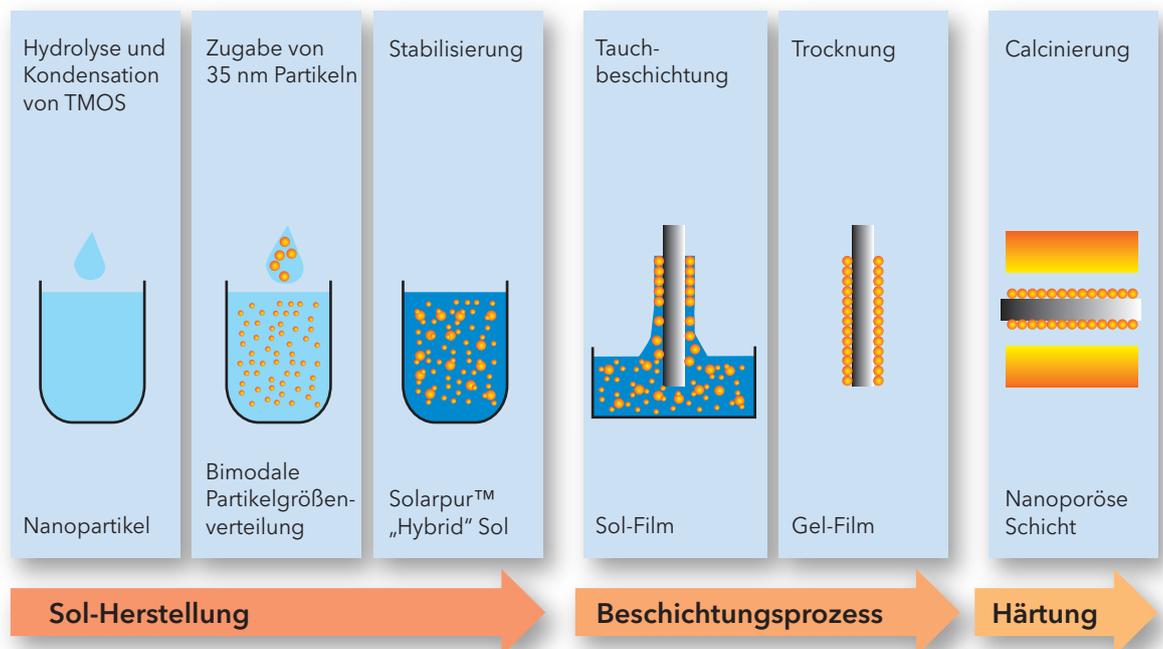
Wertschöpfungsketten im Bauwesen und marktbeeinflussende Umfeld- und Rahmenbedingungen (Quelle: VDI TZ GmbH)

Die Strategien für die Kommerzialisierung nanotechnologischer Innovationen müssen den speziellen Erfordernissen im Bauwesen angepasst werden. So erfordern lange Gewährleistungszeiten von Bauprodukten einen hohen Reifegrad neuer Entwicklungen, bevor sie auf den Markt gebracht werden können. Wichtig erscheint daher eine ausreichende öffentliche Förderung für die Vorlaufforschung und wirtschaftlich zumutbare und eventuell aus öffentlicher Hand unterstützte Versicherungskonditionen für die Hersteller und Anwender innovativer Produkte.

Die Gesetzgebung kann über Richtlinien zur Energieeffizienz von Gebäuden einen erheblichen Einfluss auf Innovationen nehmen. Die Photovoltaik, die mittlerweile einen dynamischen Wirtschaftszweig in Deutschland darstellt, ist ein eindrucksvolles Beispiel hierfür. Weiterhin von großer Bedeutung ist die Information und Schulung der Baurealisierer hinsichtlich Möglichkeiten und fachgerechtem Umgang mit neuen Werkstoffen und Technologien. Nur bei ausreichend geschultem Personal und fachkundiger Anwendung lassen sich die Vorteile nanotechnologischer Produktlösungen realisieren. Erfolgreiche Praxisbeispiele und Pilotprojekte sind erforderlich, um Kundenvertrauen zu generieren und neue Technologien am Markt zu etablieren.

Der Einfluss der Nanotechnologien im Baubereich wird sich überwiegend in frühen Stufen der Wertschöpfungskette bemerkbar machen, insbesondere im Bereich der Bauchemie. Durch Veredelungsadditive, Bindemittel, Dämmstoffe oder Beschichtungsmaterialien lassen sich durch die chemischen Nanotechnologien nahezu in allen Bereichen des Bauens gesamtwirtschaftlich effizientere Lösungen und Nachhaltigkeit steigernde Eigenschaften realisieren. Beispiele für derartige Innovationen sind selbstverdichtende Betonwerkstoffe durch optimierte Additive auf Basis nanoskaliger Polymerfunktionalitäten, Ultra-Hochleistungsbetone durch gezielte Optimierung der Kornstruktur mit synthetischen Nanopartikeln, effiziente Dämmsysteme aus minimal wärmeleitfähigen nanoporösen Materialien mit integrierter Strahlungsreflektion oder anschmutzungsresistenten Fassadenfarben auf der Basis nanoskaliger Strukturierung und Materialverbindungen. Die Bereiche Beton, Energiemanagement und Beschichtungen werden in der Zukunft am stärksten durch Innovationen auf der Basis chemischer Nanotechnologien profitieren.

Wertschöpfung im Baubereich durch nanotechnologische Beschichtungsverfahren am Beispiel eines Sol-Gel-Verfahrens für die Herstellung von Antirefleksions-schichten für Flachglas mit Anwendungsbereichen z. B. in der Photovoltaik (Quelle: Centrosolar GmbH)



3.3 Verbraucherschutz und Sicherheit

Der wirtschaftliche Erfolg der Nanotechnologien, insbesondere im Baubereich, ist eng an die gesellschaftliche Akzeptanz von Nanomaterialien gekoppelt. In jüngerer Zeit werden wissenschaftliche Ergebnisse zu human- und ökotoxischen Gefahren von Nanomaterialien, insbesondere von Nanopartikeln, verstärkt in den Medien und der Öffentlichkeit diskutiert. Auch wenn derzeit keine belastbaren Hinweise auf eine Gefährdung der Bevölkerung bestehen, muss der Kenntnisstand über mögliche Umwelt- und Gesundheitsfolgen durch Freisetzung von Nanopartikeln für eine bessere Einschätzung des Gefährdungspotenzials erweitert werden. Aus einem in diesem Gebiet derzeit noch fehlenden Wissen könnten sich Hemmnisse für die Markteinführung von Produkten der chemischen Nanotechnologien ergeben. Die Hersteller von Nanomaterialien sind hier in der Verantwortung, durch hohe Produkt- und Produktionsstandards die Entstehung von Risikosituationen wie z. B. die Exposition von Verbrauchern mit ungebundenen Nanopartikeln zu vermeiden.

Durch eine feste Einbettung in Verbundstoffe kann das Risiko der Freisetzung von Nanopartikeln weitgehend ausgeschlossen werden. Dennoch müssen noch offene Fragen geklärt und eine Wissensbasis geschaffen werden, die einen schnellen Überblick über bereits vorhandene Daten und Testmethoden liefert, um das Entwicklungsrisiko und einhergehend damit auch ein finanzielles Risiko für die beteiligten

Unternehmen zu verringern. Die Erforschung des Gefährdungspotenzials von Nanomaterialien ist hierbei in hohem Maße gesellschaftlich relevant und daher auch eine staatliche Aufgabe. Das Bundesforschungsministerium fördert eine Reihe von Projekten zur Aufklärung möglicher Gefährdungspotenziale durch Nanomaterialien, wie z. B. das Forschungsprojekt NanoCare mit einem Finanzvolumen von ca. 10 Mio. Euro bis zum Jahr 2009. Auch die Industrie zeigt ein verstärktes Engagement in Forschungsaktivitäten und Gremien, wie beispielsweise dem VCI/Dechema-Arbeitskreis „Responsible Use of Nanomaterials“.

Um Imageschäden und eine Verunsicherung von Verbrauchern zu vermeiden, ist es wichtig, dass die vorliegenden Ergebnisse zu Gesundheits- und Umwelteffekten von Nanopartikeln und deren Interpretation durchschaubar und zielgruppengerecht kommuniziert werden. Nur so lässt sich eine langfristige Akzeptanz in der Öffentlichkeit und bei Anwendern von neuen Nanomaterialien und darauf basierenden Produkten erreichen. Die derzeitigen Aktivitäten im Bereich der Standardisierung und Normung im Bereich der Nanotechnologien sowie die Schaffung transparenter Qualitätssiegel für nanotechnologische Produkte könnten wichtige Beiträge für die Schaffung eines nachhaltigen Kundenvertrauens liefern.

Der Fall „Magic-Nano“

Im März 2006 wurden zwei Versiegelungssprays wegen erwiesener Gesundheitsgefährdungen aus dem Handel genommen: „Magic Nano Bad- und WC-Versiegeler“ und „Magic Nano Glas- und Keramik-Versiegeler“ der Fa. Kleinmann. Dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) wurden mehr als 70 Fälle mit gravierenden Gesundheitsstörungen nach der Anwendung der Haushaltsprodukte gemeldet. Betroffene, die Bestandteile des Sprays eingeatmet hatten, klagten über Atemnot und in sechs Fällen mussten Lungenödeme klinisch behandelt werden. Der Fall zog ein internationales Medienecho nach sich und es wurden Mutmaßungen über einen möglichen Zusammenhang der schädlichen Wirkungen mit der Verwendung von Nanomaterialien geäußert. Untersuchungen des BfR haben jedoch eindeutig ergeben, dass das Produkt keine nanopartikulären Materialien enthielt und die Gesundheitsbeeinträchtigungen somit durch andere Inhaltsstoffe verursacht worden sind.

Der Begriff „nano“ wurde bei dem Produkt aus Werbezwecken verwendet und sollte nach Angaben des Herstellers auf die Ausbildung der dünnen (in der Regel allerdings einige µm dicken) Versiegelungsschicht hinweisen.

Obwohl die Vermutung hinsichtlich gesundheitsgefährdender Eigenschaften von Nanomaterialien in diesem Beispiel zweifelsfrei entkräftet werden konnten, weist der Fall doch auf zwei charakteristische Probleme in der öffentlichen Kommunikation im Zusammenhang mit nanotechnologischen Innovationen hin: Es gibt derzeit keine rechtliche Einschränkung für die Verwendung des allgemeinen Begriffes „nano“ in Produkten. Für den Verbraucher ist es so oftmals nicht transparent, ob derartige Produkte unter Anwendung von Nanotechnologien hergestellt worden sind, welche Produkteigenschaften mit dem Begriff „nano“ kommuniziert werden sollen und welche innovativen oder womöglich auch gefährdende Eigenschaften derartige

Produkte tatsächlich aufweisen. Es wird diskutiert, inwieweit die Einführung von Qualitätssiegeln und Zertifikaten im Zusammenhang mit nanotechnologischen Innovationen zur Verbesserung des Verbraucherschutzes und der Markttransparenz sinnvoll bzw. erforderlich ist.

Das mediale Interesse bei Negativmeldungen und Unfällen im Zusammenhang mit den Nanotechnologien ist besonders hoch. Es ist daher notwendig,

Reaktionsmechanismen auf Seiten der Unternehmen und Behörden zu etablieren, die rasche Gegen- und Aufklärungsmaßnahmen bei Störfällen in die Wege leiten. So kann realen Risiken der Nanotechnologien frühzeitig entgegengewirkt, aber auch unbegründete Verdachtsmomente wie im Fall Magic-Nano schnell entkräftet werden, um eine Diskreditierung des gesamten Technologiefeldes zu vermeiden.



„nano“ - simply the (As)best!?

In Medienberichten werden häufig Analogien zwischen Asbest und Nanomaterialien gezogen. Asbest - eine Sammelbezeichnung für verschiedene, natürlich vorkommende, faserförmige Silikatminerale - galt aufgrund seiner Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, Hitze- und Säurebeständigkeit sowie einer hervorragenden Wärmeisolierung, lange Zeit als „Wunderfaser“ und fand breiteste technische Anwendung u. a. in der Bauindustrie. Aufgrund der eindeutig festgestellten Gesundheitsgefahren, die von Asbest ausgehen, ist der Einsatz heute in vielen Ländern verboten, unter anderem in der ganzen EU. Die durch Asbest verursachten Schäden durch Berufskrankheiten und notwendige Sanierungsmaßnahmen haben allein in den USA Versicherer und Rückversicherer bislang mehr als 135 Mrd. \$ gekostet. Wie konnte es zu so einem hohen Schadensausmaß kommen?

Hauptursache hierfür ist sicherlich, dass frühe Warnsignale bezüglich gesundheitlicher Risiken von Asbest lange Zeit ignoriert worden sind und die zuständigen Behörden nur sehr zögerlich regulatorische Maßnahmen ergriffen haben. Bereits um 1900 wurde die Asbestose als Krankheit entdeckt. 1943 wurde Lungenkrebs als Folge von Asbestbelastungen als Berufskrankheit anerkannt und seit 1970 wird die Asbestfaser offiziell als krebserzeugend bewertet. Dennoch dauerte es bis 1979, das erste Asbestprodukt (Spritzasbest) zu verbieten. Weitere Einschränkungen folgten, bis 1990 in Österreich und 1993 in Deutschland der Einsatz von Asbest gänzlich verboten wurde.

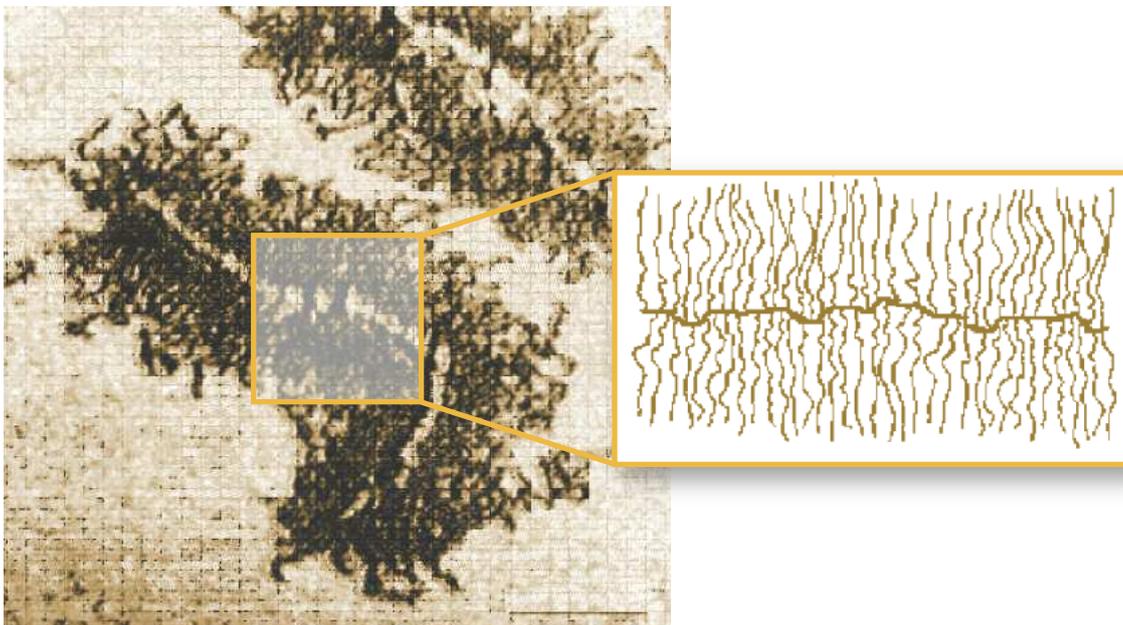
Es ist klar, dass sich ein Fall wie Asbest in den Nanotechnologien nicht wiederholen darf. Die Chancen für die Vermeidung derartiger Risiken sind sehr gut, da bereits sehr frühzeitig Maßnahmen für eine grundlegende Untersuchung möglicher toxikologischer Risiken durch Nanomaterialien ergriffen werden und auch die Regulierungsbehörden sensibilisiert sind. Ebenso ist mittlerweile klar, dass die toxikologischen Eigenschaften von Asbest auf mikroskaligen faserartigen Strukturen basieren, die die Zellen schädigen und Entzündungsreaktionen hervorrufen. Eine unmittelbare Analogie zu möglichen toxikologischen Wirkungen von Nanomaterialien ist diesbezüglich daher eher nicht zu befürchten. Um dennoch etwaige Risiken frühzeitig zu identifizieren, fördert das Bundesforschungsministerium die Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien im laufenden Projektcluster NanoCare mit rund 8 Mio. Euro bis 2009. Um unbegründeten Vorbehalten und medialer Panikmache entgegenzuwirken, ist es ebenso wichtig, eine ausgewogene Risiko-Kommunikation zu etablieren, die den aktuellen Wissensstand an beteiligte Gruppierungen wie Verbraucher, Behörden oder Umweltschutzorganisationen vermittelt. Das Land Hessen hat zu diesem Zweck eine Kommunikationsplattform im Internet geschaffen und einen Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologien für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen entwickelt (s. Broschüre „Nano-Kommunikation“).

4 Nanotechnologienanwendungen im Bausektor

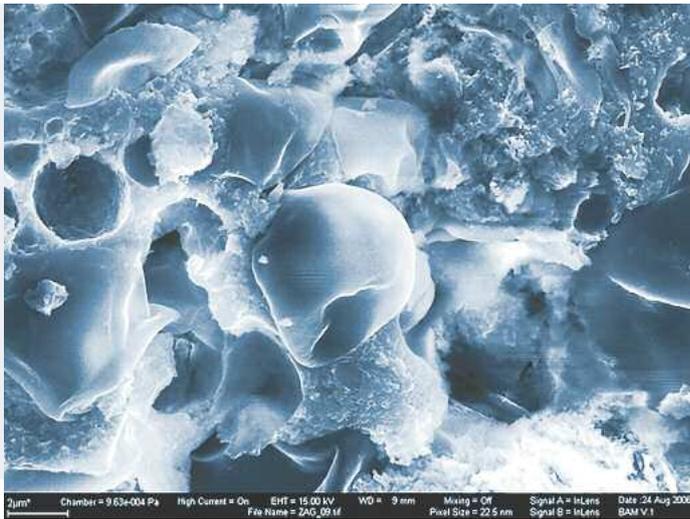
4.1 Zementgebundene Baustoffe

Beton – ein künstliches Gestein aus Zement, Betonzuschlag (Sand und Kies oder Splitt) und Wasser – ist mit einer Jahresproduktion von über 10 Mrd. t weltweit das mengenmäßig größte von Menschen produzierte Wirtschaftsgut und mit Abstand der wichtigste Baustoff im Massiv- und Rohbau. Die hohe Festigkeit von Betonen basiert auf Kristallstrukturen, die lediglich einige Nanometer groß sind. Die Verwendung von Nanomaterialien als Zuschlagstoffe für zementbasierte Baustoffe und neue Verfahren zur Nanostrukturaufklärung haben in den letzten Jahren Ansatzpunkte für deutliche Werkstoffverbesserungen im Bereich der Betonbaustoffe gegeben. Die Nanotechnologien sorgen hier für Materialverbesserungen durch die Verwendung von Nanopulvern als Zuschlagstoffe in Zementmischungen. Dadurch können nicht nur die Festigkeit, Beständigkeit und Verarbeitbarkeit von Beton und Mörteln verbessert werden, sondern prinzipiell sind auch weitere Funktionalitäten wie elektromagnetische Abschirmung, Wärmeschutz, Regulierbarkeit der thermischen Leitfähigkeit, Farbänderungen und katalytische Reaktionen zum großflächigen Schadstoffabbau denkbar.

Als nanoskalige Zuschlagstoffe zur Verbesserung von Beton- / Mörtel­eigenschaften werden beispielsweise nanoskalige Metallo­xide (z. B. kolloidales Siliziumdioxid) oder Blockcopoly­mere bereits kommerziell eingesetzt. Durch Anwendung von kolloidalem Siliziumdioxid, das eine Partikelgrößenverteilung typischerweise im Größenbereich von 5 bis 30 nm aufweist, lassen sich die Festigkeit des Betons sowie die Beständigkeit gegenüber Säurekorrosion weiter verbessern. Der Effekt basiert im Wesentlichen auf einer hohen aktiven Oberfläche des kolloidalen Siliziumdioxids (Kieselsäure) und ihrer Fähigkeit, mit Bestandteilen des Zementes zusätzliche festigkeitssteigernde Reaktionsprodukte zu bilden. Die beschleunigte und intensivere Abbin­dungsreaktion sowie die modifizierte chemische Zusammensetzung des Zements wirken sich positiv auf die Mikrostruktur des Betons aus. Diese Betone erreichen eine stahlähnliche Druckfestigkeit von über 200 N/mm², im Labor sogar bis 500 N/mm². Polymerzusätze führen als „Abstandhalter“ zu einer Verflüssigung und Stabilisierung von Zementsuspensionen, was für die Entwicklung selbstverdichtender Betone genutzt wird. Diese Betone haben eine verbesserte Fließfähigkeit, passen sich optimal den Verschalungen an und machen eine nachträgliche Verdichtung des Betons überflüssig.



Polymere als Abstandhalter in der Zementmatrix verbessern die Fließfähigkeit in selbstverdichtendem Beton (Quelle: Technische Universität München)



Phasen-Wechsel-Materialien werden zur Temperaturregulierung in Gebäudefassaden in die Betonmatrix integriert. (Quelle: BAM, Berlin)

Ein weiteres interessantes Forschungsfeld sind Phasen-Wechsel-Materialien (PCM), die in Baustoffe wie Gips oder Porenbeton integriert werden, um die Temperaturregulierung in Gebäuden zu optimieren. Bei Kälte sorgen PCM durch Kondensationswärme für eine Erwärmung der Fassade, während bei sommerlicher Hitze durch den Schmelzvorgang Energie verbraucht wird, sodass ein kühlender Effekt ent-

steht. PCM auf Basis von Paraffinen, die in sehr kleine Polymerkapseln verpackt werden, lassen sich fein verteilt in Baustoffe integrieren, ohne deren mechanischen Eigenschaften zu beeinflussen. Derartige PCM sind bereits für verschiedene Baustoffe kommerziell erhältlich, beispielsweise als Zusatzstoff für Span- und Gipsplatten oder in Porenbetonbausteinen integriert.

Weiterhin bieten sich durch Nanotechnologien Möglichkeiten zur Optimierung von faserverstärkten Betonen. So lässt sich die Dauerhaftigkeit und das Tragverhalten von textilibewehrtem Beton durch Glasfaser- und Grenzschichtdesign mit nanostrukturierten Polymeren deutlich verbessern. Betonbauteile zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung können so mit geringeren Abmessungen und mit geringerem Gewicht hergestellt werden bei gleicher oder sogar besserer Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit (siehe Praxisbeispiel Uni Kassel). Die Weiterentwicklung von Betonbaustoffen im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit erfordert zunehmend ein Verständnis der Strukturen auf der Nanoskala, um Phänomene wissenschaftlich basiert vorherzusagen und gezielt optimieren zu können.

4.2 Außen- und Dachfassaden

Oberflächenfunktionalisierung von Fassadenflächen

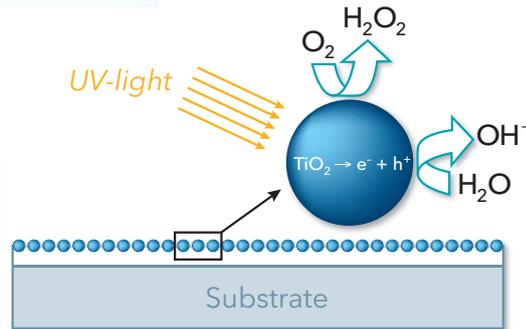
Die Nanotechnologien bieten eine Fülle von Möglichkeiten, die Oberflächeneigenschaften von Gebäudfassaden funktional oder ästhetisch zu verbessern. Durch die Anwendung von Nanomaterialien lassen sich beispielsweise die Eigenschaften der Oberflächen gegenüber Wasser und Schmutzpartikeln in einer großen Variationsbreite einstellen, z. B. hydrophil (wasseranziehend), hydrophob (wasserabweisend) oder oleophob (fettabweisend). Bei hydrophilen Oberflächen bildet sich bei Feuchtigkeitseinfluss ein gleichmäßiger Wasserfilm auf der Oberfläche, sodass eine Tropfenbildung und damit ein Beschlagen beispielsweise von Scheiben oder Spiegeln vermieden werden kann. Technisch lassen sich superhydrophile Oberflächen z. B. durch Anwendung photokatalytischer Titandioxidschichten realisieren, die aufgrund der photokatalytischen Aktivität gleichzeitig auch noch biozid wirken und an der Oberfläche anhaftende Algen, Moose, Mikroben und Krankheitskeime abtöten.

Durch Verwendung nanoskaliger Titandioxidpulver wird die Wirksamkeit der Schichten erhöht und aufgrund der Kleinheit der Teilchen eine Lichtstreuung vermieden, sodass die für die Anwendung auf Scheiben etc. erforderliche Transparenz der Schicht erzielt wird. Die Produktpalette photokatalytischer Schichtsysteme im Bausektor ist bereits relativ groß und umfasst superhydrophile Oberflächen u. a. für Spiegel, selbstreinigende Fenster, Fensterrahmen oder Ziegel.

Die photokatalytische Wirksamkeit der Titandioxidschichten basiert auf der Einstrahlung von UV-Licht, sodass die Anwendung in der Regel auf den Außenbereich beschränkt bleibt. Mittlerweile gibt es jedoch Ansätze, die Absorptionskante des Photokatalysators in den sichtbaren Bereich zu verschieben, sodass Innenraumanwendungen wie fungizide Wandanstriche ohne Einsatz spezieller UV-Lampen möglich werden.



Selbstreinigende Dachziegel durch superhydrophobe Beschichtungen (Quelle: Flad & Flad Communications)



Photokatalytischer Effekt und Anwendung auf PVC-Fensterprofilen (Quelle: Nano-X GmbH)



Am weitesten vorangeschritten ist die Kommerzialisierung der Photokatalysertechnologie in Japan, aber auch von deutschen Unternehmen werden photokatalytische Produkte auf dem Markt angeboten, wie z. B. Erlus Lotus® (selbstreinigendes Tondach von Erlus), StoPhotosan® und StoClimasan Color® (selbstreinigender Wandanstrich und photokatalytische Innenraumfarbe der STO AG), Hydrotect® Fliesen (Deutsche Steinzeug AG), Pilkington Active (selbstreinigendes Flachglas von Pilkington Deutschland) oder Airclean®-Pflastersteine der Firma FCN aus Fulda. An der Universität Kassel wird intensiv an photokatalytischen Beschichtungen für den Außenbereich geforscht.

Hydrophobe Schichten weisen wasserabweisende Eigenschaften auf, sodass Wasser auf diesen Schichten abperlt und dabei auf der Oberfläche anhaftende Schmutzpartikel abspült. Hydrophobe Oberflächen sind im Bausektor von großer Bedeutung, da sich mit

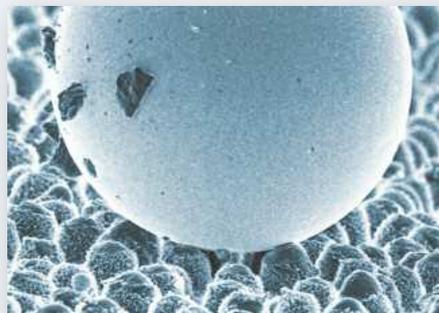
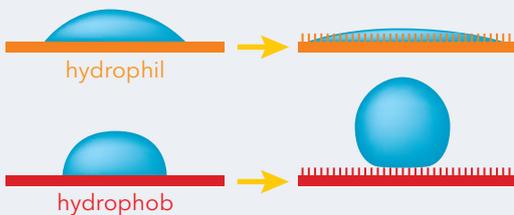
ihnen Funktionalitäten von Fassadenoberflächen wie z. B. Antschmutz-, Antifouling-, Antigraffiti-, oder Antikorrosions-Eigenschaften erzielen lassen. Es befinden sich bereits eine Vielzahl von Produkten zur Hydrophobisierung von Fassadenflächen auf dem Markt, die häufig auf der Anwendung fluor- bzw. silikonhaltiger Verbindungen basieren und unter dem Label „easy-to-clean“ vertrieben werden.

Für die Herstellung derartiger Oberflächensysteme werden meist wässrige Systeme mit einer Mischung aus funktionalisierten SiO₂-Nanopartikeln, Vernetzungsmitteln und Fluorpolymeren verwendet. Die Firma Natepro aus Schlüchtern bietet beispielsweise Versiegelungsschichten für verschiedene Fassadenoberflächen wie Putz, Glas, Keramik oder Holz kommerziell an, die beispielsweise im Fertighausbau Anwendung finden (siehe Praxisbeispiel Renschhaus).

Eine Verfeinerung des Ansatzes der hydrophoben Oberflächen stellt die zusätzliche Mikrostrukturierung dar, die durch hieraus resultierende Kapillareffekte die Tropfenbildung verstärkt und somit der Oberfläche superhydrophobe Eigenschaften verleiht. Dieser Selbstreinigungsmechanismus superhydrophober mikrostrukturierter Oberflächen, der in der Natur an Pflanzen wie der Lotusblume beobachtet werden kann, wurde unter der Markenbezeichnung Lotus-Effect® in den Markt eingeführt. Ein Beispiel ist hier die Fassadenfarbe Lotusan® der Firma Sto, die seit 1999 auf dem Markt ist und mit der mittlerweile über 300.000 Gebäude gestrichen

worden sind. Im Bausektor sind prinzipiell alle mechanisch wenig belasteten äußeren Fassadenflächen für Anwendungen des Selbstreinigungseffektes interessant. Die bisherigen Ansätze zur technischen Nachahmung des natürlichen Selbstreinigungseffektes weisen noch Einschränkungen in ihrer praktischen und ökonomischen Umsetzbarkeit sowie der Haltbarkeit auf. Insbesondere die Haltbarkeit der Mikrostrukturierung der Oberfläche unter realen Umwelteinflüssen - speziell bei starker mechanischer Belastung - zu gewährleisten, ist teilweise schwierig.

Einfluss der Rauigkeit auf die Benetzbarkeit hydrophiler und hydrophober Oberflächen



Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Wassertropfens auf einer superhydrophoben Oberfläche

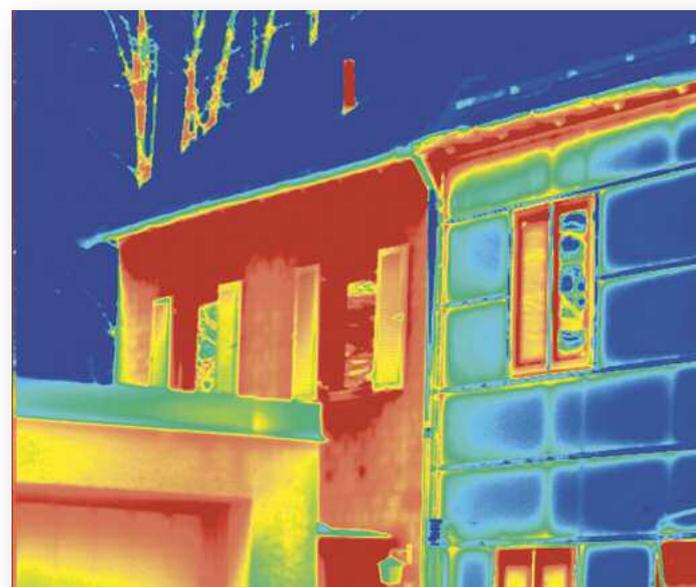


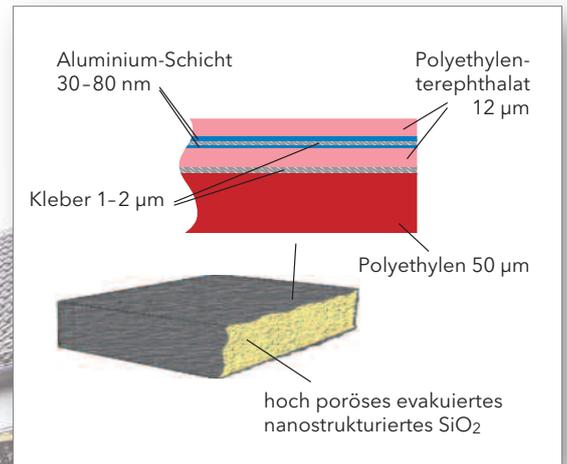
Anwendung des Lotus-Effektes in Fassadenfarben (Quelle: Uni Bonn)

Durch Mikrostrukturierung ändert sich durch den Einfluss von Kapillareffekten die Benetzbarkeit von Oberflächen: oben: die wasseranziehende Wirkung hydrophiler Oberflächen wird verstärkt (Superhydrophilie) unten: Die Mikrostruktur erhöht die wasserabweisende Wirkung hydrophober Oberflächen und verstärkt die Tropfenbildung (Superhydrophobie, Lotus-Effekt). (Quelle: Uni Bonn)

Thermische Isolierung

Die thermische Isolierung von Außenfassaden ist ein wesentlicher Faktor in der Bauwirtschaft, sowohl im Hinblick auf die Investitionskosten bei Neubauten und Gebäudesanierungen als auch im Hinblick auf die Betriebskosten. Allein in Deutschland gibt es ca. 6 Milliarden Quadratmeter Fassadenfläche einschließlich ca. 800 Millionen Quadratmeter Fensterflächen, wovon ein großer Teil sanierungsbedürftig ist. In Westeuropa wird der Markt für thermische Isolierungen in der Gebäudetechnik auf ca. 6 Mrd. Euro geschätzt.

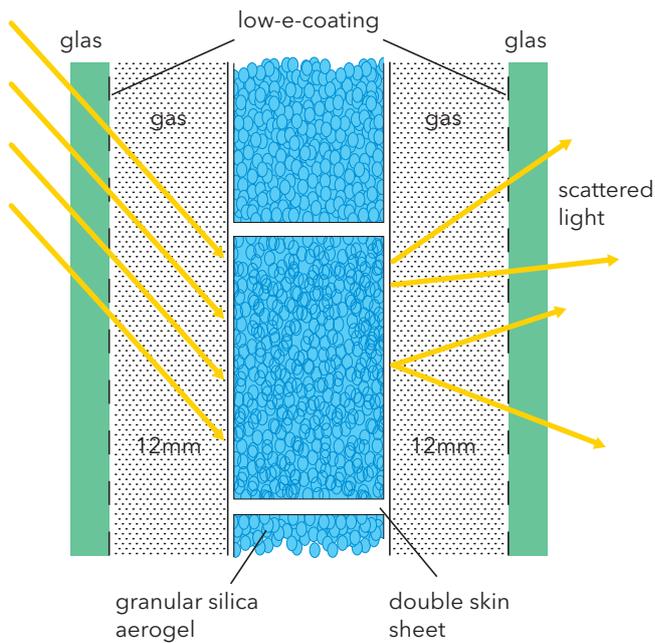




Aufbau und Anwendung von Vakuumisoliationspanelen zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand (Quelle: ZAE Bayern)

Granulare Aerogelmaterialien eignen sich aufgrund ihrer Lichtdurchlässigkeit für durchscheinende Gebäudefassaden oder Dachfenster. Derartige

Aerogelfenster basieren auf Doppelverglasungen, in deren Zwischenraum Aerogel-Granulat eingefüllt wird.



Aufbau durchscheinender Aerogelfassaden und Pilotanwendung in einem Gebäude (Quelle: ZAE Bayern)

4.3 Fenster und Verglasungen

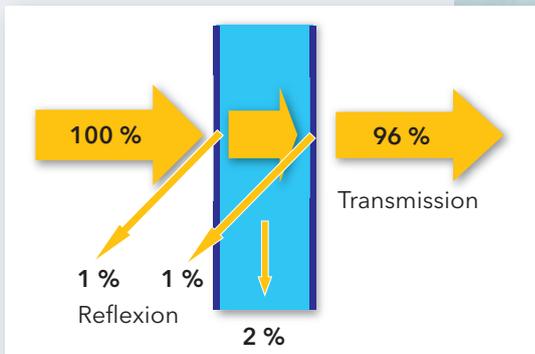
Glas zeichnet sich als Baustoff für Fenster und Fassaden durch seine hohe Transparenz und Beständigkeit sowie durch eine beliebige Form- und Farbgebung aus. Negativ wirken sich allerdings die starke Verschmutzungsneigung, störende Spiegelungen und eine schlechte Wärmeisolierung von Glas aus. Durch nanotechnologische Beschichtungen lassen sich diese negativen Eigenschaften deutlich abmildern und damit neue Anwendungsbereiche für Glasfassaden erschließen:

- Verbesserter Wärmeschutz durch lowE-Schichten
- Sonnenschutz durch eine schaltbare Glastönung (z. B. Elektrochromie)
- Optimierte Tageslichtnutzung durch integrierte Mikrospiegelarrays
- Selbstreinigung durch photokatalytische Beschichtungen
- Antireflexschichten durch nanoporöse SiO₂-Schichten

Antireflexeigenschaften durch nanoporöse Sol-Gel-Schichten

Eine marktreife Entwicklung sind Antireflexschichten für Flachglas, die für einen höheren Licht-Transmissionsgrad sorgen und beispielsweise für Solarkollektoren oder die Fassadenverglasung eingesetzt werden. Die Antireflexeigenschaften basieren auf einer nanoporösen Interferenzschicht, deren industrielle Produktion für großflächig entspiegelte Glasscheiben unter Beteiligung der Firma Merck aus Darmstadt vorangetrieben wird. Es gelingt, mit dem Verfahren die Reflektionsverluste bei Glasscheiben von üblicherweise 8 % auf 2 % zu reduzieren.

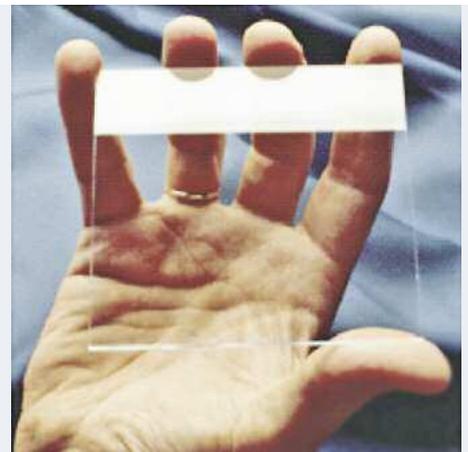
Aufbau und Funktionsweise nanoporöser Antireflexschichten zur Erhöhung des Licht Transmissionsgrades für Flachglas. (Quelle: Centrosolar)



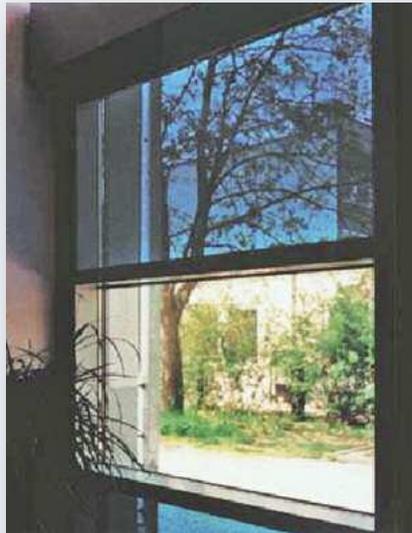
Interferenzschichten bewirken einen winkelahhängigen Transmissionsgrad von Licht (Quelle: INM GmbH)

Smart Windows

Der Begriff Smart Window oder auch Smart Glazing bezieht sich auf Glasscheiben, die in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen ihre Eigenschaften insbesondere hinsichtlich der Lichtdurchlässigkeit ändern können. Hierfür werden chromogene Materialien benötigt, deren Farbe bzw. Transparenz in Abhängigkeit physikalischer oder chemischer Einflussgrößen reversibel geschaltet werden können. Weltweit wird pro Jahr Flachglas im Wert von etwa 40 Mrd. US \$ verkauft. Auch wenn schaltbare Verglasungen nur einen Bruchteil dieses Marktes adressieren, bestehen hier Chancen, Umsätze in Milliardenhöhe zu erreichen. Ein Markt für chromogene Gläser wird vor allem im Bereich Architektur als



Ersatz für externe Verschattungssysteme, wie z. B. Blendschutzsysteme und Jalousien gesehen. Schaltbare Gläser lassen sich durch eine Vielzahl technischer Ansätze realisieren, die wesentlich auf der Anwendung von Nanomaterialien und nanoskaligen Schichtsystemen basieren. Bislang ist ein Durchbruch für eine breite kommerzielle Anwendung sowohl aus Kostengründen als auch aus technischen Gründen noch nicht abzusehen. Hersteller von elektrochromen Gläsern in Deutschland sind u. a. die Firmen EControl-Glas oder Gesimat. Einen anderen Ansatz bietet eine innovative Entwicklung der Universität Kassel, die in Zukunft konventionelle Blendschutzsysteme überflüssig machen und für eine optimierte Tageslichtausleuchtung und Wärmeregulation in Gebäuden sorgen könnte. Die Innovation basiert auf Mikrospiegelmodulen, die aus Milliarden einzelner Elemente bestehen und zwischen den Scheiben konventioneller Isolierverglasungen implementiert werden. Diese lenken Licht gezielt in die Raumtiefe und reflektieren gleichzeitig störendes Blendlicht zurück (siehe Praxisbeispiel Uni Kassel).



Bei elektrochromen Verschiebungen lässt sich der Transmissionsgrad durch Anlegen einer elektrischen Spannung schalten. (Quelle: INM GmbH)

4.4 Energie- und Beleuchtungstechnik

Die Nanotechnologien bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz und Entwicklung neuartiger Verfahren der Energieerzeugung und Beleuchtungstechnik in Gebäuden.

Beispiele hierfür sind:

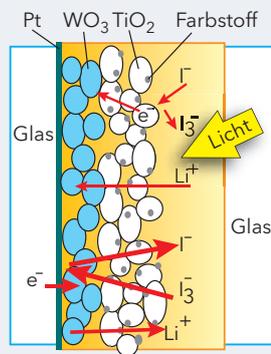
- Leuchtdioden (LED) als energieeffiziente Beleuchtungstechnik für spezielle Anwendungen in der Gebäudetechnik (Fassadenbeleuchtung, Signalbeleuchtung, Farbliche Akzentbeleuchtungen)
- Organische mit Potenzial für großflächige Beleuchtungstechnik auf flexiblen Substraten
- Farbstoffsolarzellen mit transparenten und dekorativen Eigenschaften, z. B. für Glasfassaden als Alternative zu Silizium basierten Solarzellen
- Nanostrukturierte Membranen und Katalysatoren für effizientere Brennstoffzellen zur Strom- und Wärmeerzeugung mit Erdgas

Aufgrund des geringen Energieverbrauches, der abstimmbaren Farbgestaltung und der kompakten Bauweise lassen sich durch LED, die auf nanoskaligen Halbleiterschichten basieren, zunehmend architektonische Akzente bei der Gebäudebeleuchtung



LED für die Beleuchtungstechnik (Quelle: Hotel Weggis, Schweiz)

und Fassadengestaltung setzen. Beim Einsatz von farbigem Licht hat die LED den Vorteil, dass nur das benötigte Spektrum erzeugt wird. Bei anderen Lichtquellen hingegen werden zur Erzeugung von Farbe Beschichtungen oder Filter benötigt, die bis zu 80 % des erzeugten Lichtes absorbieren können. Längerfristig bieten sich Optionen für neuartige Beleuchtungstechniken auf Basis organischer Leuchtdioden, die das Potenzial für großflächige, biegsame und elektronisch steuerbare Multicolor-Leuchtmittel aufweisen und somit zukünftig Anwendungen wie leuchtende Tapeten ermöglichen könnten. Die Vision einer sich dem Stimmungszustand der Bewohner adaptierenden Wohnumgebung - ob virtueller Südseestrand oder Winterlandschaft - rückt durch Nanotechnologien in greifbare Nähe.

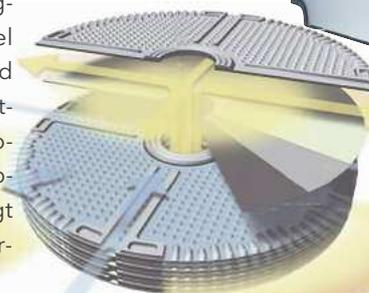


Farbstoffsolarzellen nutzen mit Farbstoffmolekülen dotierte Titandioxidnanopartikel für einen schnellen Ladungstransport. Die Absorption des Lichtes führt in den Farbstoffmolekülen zur Freisetzung von Elektronen, die von den Titandioxidpartikeln aufgenommen und an die Elektrode weitergeleitet werden. Die Farbstoffmoleküle werden durch das Redoxpaar Jodid/Trijodid im Elektrolyten wieder regeneriert. Farbstoffsolarzellen eignen sich auch zur Realisierung schaltbarer Gläser. Wird eine elektrochrome Schicht auf Basis von WO_3 in die Zelle integriert, dunkelt sich das sonst durchsichtige Modul bei Sonneneinstrahlung automatisch ab. Aufgrund ihrer Transparenz und variablen Farbgestaltung bieten Farbstoffsolarzellen-Module interessante architektonische Gestaltungsmöglichkeiten. (Quelle: FHG-ISE)

Farbstoffsolarzellen sind ein Beispiel für eine neue Klasse von Solarzellen, die ähnlich wie bei der Photosynthese in der Natur Farbstoffe für die Lichtabsorption verwenden. Dabei wird das Prinzip eines ultraschnellen Elektronentransfers zwischen einem das Licht absorbierenden Farbstoffkomplex und einer nanokristallinen Elektrode aus Titandioxidpartikeln ausgenutzt. Die größte Herausforderung für eine Vermarktung von Farbstoffsolarzellen liegt in der Langzeitstabilität für Außenanwendungen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind eine hermetische Versiegelung und eine sorgfältig optimierte chemische Zusammensetzung des in Farbstoffsolarzellen enthaltenen Elektrolyten erforderlich. Der kurz- und mittelfristig mit Farbstoffmodulen erreichbare, solare Wirkungsgrad liegt bei 4-5 % und damit noch deutlich unter dem Wir-

kungsgrad von ca. 15 % marktüblicher Solarmodule. Für eine Markteinführung müssen daher die spezifischen Anwendungsvorteile der Farbstoffsolarzelle wie Semi-Transparenz, dekorative Strukturierung oder Kombination mit elektrochemischen Elementen umgesetzt werden. Erste Anwendungsmöglichkeiten werden daher in den Bereichen Fassaden, Oberlichtern, Sonnendächern und Automobil gesehen.

Aufgrund der steigenden Anforderungen hinsichtlich einer effizienteren Energiewandlung und des Trends zur dezentralen Energieversorgung werden in Zukunft auch Brennstoffzellensysteme eine bedeutende Rolle in der Gebäudetechnik spielen. Hierbei sind Hochtemperatur-Brennstoffzellen besonders attraktiv, da hiermit Kraft-Wärme gekoppelte (KWK) Systeme mit hohem Gesamtwirkungsgrad realisiert werden können. Die elektrische Stromerzeugung liegt dabei im Bereich von 1 bis 5 kW für Ein- und Mehrfamilienhäuser bis zu einigen 100 kW für industrielle Anlagen. Erste Feldtests mit KWK-Systemen, z. B. MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) der Firma MTU oder SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) der Firma Sulzer Hexis, werden durchgeführt, bevor eine Kommerzialisierung dieser Systeme zu erwarten ist. Substanzielle Verbesserungen der Leistungsdichte derartiger Brennstoffzellen erreicht man über ein „maßgeschneidertes“ Interface zwischen den elektrokatalytisch aktiven Elektroden und dem ionenleitenden Elektrolyten, wobei die Nanotechnologien eine entscheidende Rolle spielen.



Nano-optimierte Brennstoffzellen werden künftig eine effiziente und wirtschaftliche Alternative der Strom- und Wärmeerzeugung in Gebäuden darstellen. (Quelle: Hexis)

4.5 Brandschutz

Die Nanotechnologien bieten verschiedene Ansatzpunkte für die Entwicklung neuartiger Flammenschutzmittel mit optimiertem Eigenschaftsprofil bzw. als Ersatz für umweltbelastende Stoffe. Ein Forschungsschwerpunkt sind hier nanostrukturierte Silikatpartikel („Nanoclay“), die als Füllstoffe für Polymere zur Optimierung der Flammschutz Eigenschaften und der Hitzebeständigkeit verwendet werden. In der Gebäudetechnik spielen Polymere vor allem als Kabelummantelungen und in diversen Installationen und Verschaltungen im Innenausbau eine Rolle (z. B. Sicherungskästen, Steckdosen, Lampengehäuse etc.). Hinsichtlich der Brandschutzeigenschaften von Nanoclay-Kompositen konnte gezeigt werden, dass sowohl die Hitzeabstrahlung als auch die Rauchentwicklung deutlich reduziert und der Zündzeitpunkt verzögert werden konnte.

Ein weiteres Anwendungsfeld sind brandhemmende Beschichtungen für Holz, Metall, Kunststoff oder Beton, mit denen die Materialien der Feuerentwicklung länger standhalten und eine unkontrollierte Feuerausbreitung verhindert wird. Nanotechnologische Anwendungspotenziale bieten sich in diesem Bereich durch die Verwendung nanopartikulärer Beschichtungsmaterialien, die flüssig oder pastös auf das zu schützende Material appliziert werden. Im Brandfall entsteht innerhalb von Sekunden eine keramische Schicht, die wärmedämmend wirkt und die Rauchgasentwicklung drastisch reduziert. Durch Verwendung von Nanopulvern wird die Verfestigungstemperatur gesenkt und die Schichtbildung beschleunigt, sodass eingeschlossene Gase wie Verbrennungsprodukte oder Wasser Blasen bilden können, die zusätzlich wärmedämmend wirken.

Weitere Vorteile derartiger Brandschutzsysteme sind u. a. eine gute Umweltverträglichkeit (halogenfrei) sowie hohe Lichtechtheit und Abriebfestigkeit. Die Brandschutzeigenschaften von Dämmwolle für Dachisolationen können durch temperaturstabile, nicht toxische Bindemittel auf Basis oberflächenmodifizierter nanoskaliger SiO_2 -Partikel deutlich verbessert werden. Durch nanopartikuläre Bindemittel auf Siliziumdioxidbasis wird die Entflammbarkeit organischer Naturfasern (Stroh, Hanf etc.) drastisch reduziert und Anwendungen als Leichtbaumaterialien ermöglicht, z. B. für Trennwände im Messebau oder im Fenster- und Türenbau.



Brandschutzgele auf Basis modifizierter SiO_2 -Nanopartikel verbessern die Feuerfestigkeit von Verglasungen deutlich. Im Brandfall bildet sich ein formstabiler Schaum aus (oben), der nicht von der Glasoberfläche abfließt (Quellen: INM, Saarbrücken; Evonik)

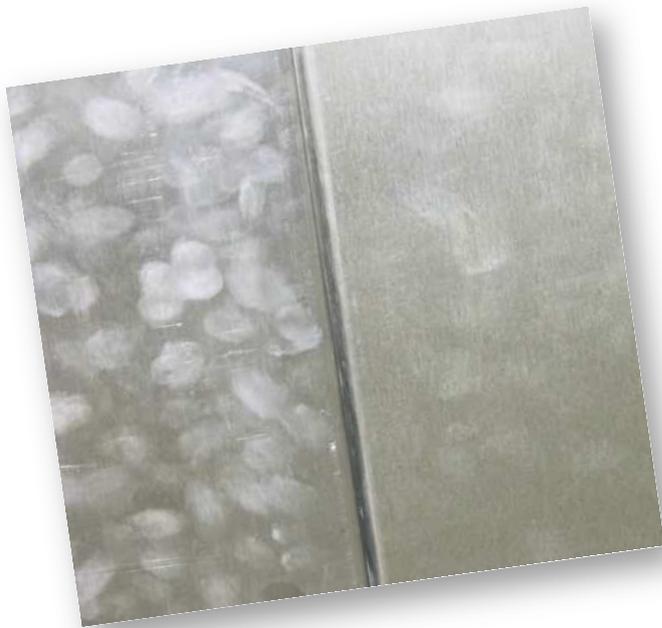


Auch bei Verglasungen kann durch Nanotechnologien die Brandschutzwirkung verbessert werden. Auf dem Gebiet des Brandschutzes sind von jeher Verglasungen ein kritischer Punkt, da das Glas im Brandfall zu Bruch geht und sich Flammen und Rauch ungehindert ausbreiten können. Auf der Basis von Nanopartikeln konnten Brandschutzgläser entwickelt werden, die eine verbesserte Brandschutzwirkung durch die Ausbildung einer schaumartigen Schutzschicht unter Hitzeeinwirkung entfalten. Diese Scheiben sind bis zu 50 % leichter und weisen eine nahezu verdoppelte Brandschutzwirkung gegenüber dem Stand der Technik auf. Die Basis hierfür bildet ein transparentes Nanogel, das zwischen zwei äußeren Glasscheiben gefüllt wird und bei Hitze einen feinsporigen, harten keramischen Schaumpanzer mit hoher Dämmwirkung entwickelt. Durch die Kleinheit der im Gel enthaltenen Nanopartikel treten nur geringe Lichtstreuungen auf, sodass die Brandschutzscheiben eine hervorragende Transparenz besitzen. Derartige Brandschutzgläser sind beispielsweise beim Flughafen in Dubai eingesetzt worden.

4.6 Inneneinrichtung

Bei der Inneneinrichtung finden die Nanotechnologien vor allem Anwendung bei der Funktionalisierung von Oberflächen. Durch den Einsatz speziell modifizierter Nanopartikel lassen sich Beschichtungen zum Schutz vor Verschmutzungen, biologischen Anhaftungen und Keimen sowie mechanischem Verschleiß für eine Vielzahl von Materialien herstellen, die im Innenausbau Anwendung finden, wie Keramiken, Edelstahl-, Glas- oder Holzoberflächen. Eines der gängigsten Beispiele ist die Hydrophobisierung von Oberflächen, die häufig auf Beschichtungen mit fluor- bzw. silikonhaltigen Verbindungen basiert. Hydrophobe Schichten weisen wasserabweisende Eigenschaften auf, sodass Wasser auf diesen Schichten abperlt und dabei auf der Oberfläche anhaftende Schmutzpartikel z. B. von Keramikfliesen oder Duschabtrennungen abspült.

Anti-Fingerprint-Schutzbeschichtungen, z. B. für Edelstahloberflächen, lassen sich durch Sol-Gel basierter Beschichtungslösungen mit funktionalisierten SiO_2 -Nanopartikeln herstellen. Die chemische Stabilisierung der Komponenten in der Suspension spielt hierbei eine Schlüsselrolle, um gewünschte Produkteigenschaften wie Transparenz, Abriebfestigkeit und optimale Anti-Fingerprint-Eigenschaften zu erhalten. Nanopartikel erhöhen hierbei die Stabilität der Suspension und sorgen für gleichmäßige Schichtausbildung.



Transparente Antifingerprint-Beschichtungen auf Basis funktionalisierter Siliziumdioxid-Nanopartikel für Edelstahl-oberflächen und -armaturen. (Foto: Sylvia Leyendecker)

Für Holzoberflächen von Möbeln und Bodenbelägen lassen sich durch die Verwendung von maßgeschneiderten Nanopartikeln Hartschichten erzielen, die im Sinne von Multifunktionsschichten verschiedene Eigenschaften wie Transparenz, Kratzfestigkeit oder UV-Stabilität miteinander vereinen. Die Beschichtungen sind üblicherweise wenige Mikrometer dick und lassen sich im Glanzgrad beliebig einstellen. Durch Verwendung von Nanopartikeln mit unterschiedlicher Größenverteilung lässt sich die Packungsdichte in der Beschichtung und damit auch die mechanische Stabilität erhöhen. Die Abriebfestigkeit von Parkettböden kann dadurch deutlich gesteigert werden.

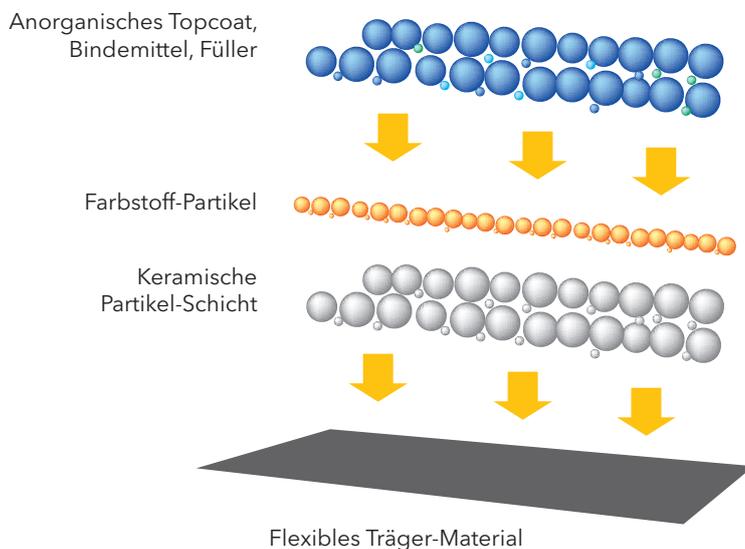


Transparente Nanomer®-Hartschichten mit trimodaler Partikelgrößenverteilung (oben) sind im Vergleich zu herkömmlichem UV-Schutz-Klarlack (unten) deutlich abriebbeständiger. (Quelle: INM Saarbrücken)



Durch den Zusatz nanoskaliger Silberpartikel lassen sich Wandfarben oder Klarlacke mit antimikrobiellen Eigenschaften ausstatten. Aus den fein verteilten Silberpartikeln werden Silberionen freigesetzt, die im relevanten Konzentrationsbereich für den Menschen unbedenklich sind und eine starke antibakterielle Wirkung entfalten, indem sie Enzyme des bakteriellen Energiestoffwechsels blockieren und in die Atmungskette sowie genetischen Prozesse von Mikroorganismen eingreifen. Produkte, die insbesondere in Bereichen mit besonderen hygienischen Anforderungen Anwendung finden (z. B. Innenraumwände und Einrichtungsgegenstände in öffentlichen Gebäuden, im Gesundheits- und Pflegebereich), werden beispielsweise von den Firmen Caparol (Wandfarben) und Clouth (Holz-Klarlack) auf dem Markt vertrieben.

Ein weiteres Beispiel sind flexible Keramikfolien, die als Fliesentapete beispielsweise im Sanitär- und Küchenbereich eingesetzt werden können und von der Evonik als Innovation in den Markt eingeführt worden sind. Zur Herstellung werden auf einem flexiblen Trägersubstrat keramische Nanopartikel zusammen mit einem Bindemittel abgeschieden. Dieses flexible keramische Komposit kann durch weitere Beschichtungsschritte gefärbt und durch ein transparentes keramisches Top-Coating versiegelt und mit zusätzlichen Eigenschaften wie UV-Schutz oder Hydrophobie versehen werden. Dadurch werden leicht und großflächig zu verarbeitende multifunktionale Wandbeläge erzielt, die sich u. a. durch Schmutzresistenz, Feuerfestigkeit und Beständigkeit gegenüber Chemikalien auszeichnen.



CC-Flex keramische Folien werden durch nanotechnologische Beschichtungsverfahren auf dünnen, flexiblen Trägersubstraten hergestellt (links) und können mit einer Vielzahl von Farbvarianten und Oberflächeneigenschaften ausgestattet werden. (Quelle: Evonik)

4.7 Infrastrukturbau

Der Bau und die Instandhaltung von Infrastrukturen in den Bereichen Energie, Verkehr und Entsorgung nimmt in Deutschland ein erhebliches Volumen von ca. einem Viertel der Gesamtinvestitionen im Baubereich ein. Eine Erhöhung der Nutzungsdauer und die Reduktion des Wartungsaufwandes wäre mit einem enormen volkswirtschaftlichen Nutzen verbunden. Nanotechnologisches Know-how bietet hier Potenziale, um Innovationen beispielsweise in Bereichen des Straßenbaus, des Brückenbaus oder des Energieanlagenbaus zu ermöglichen. Verschiedene hessische Forschungseinrichtungen und Unternehmen sind bereits in einer Reihe konkreter Umsetzungen nanotechnologischer Anwendungen in diesen Bereichen aktiv.

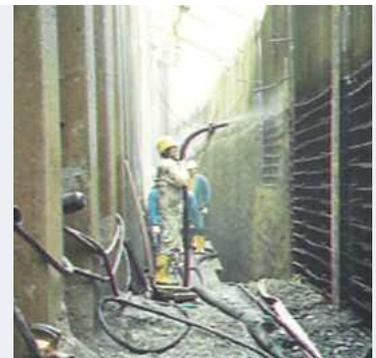
Der Einsatz der Nanotechnologien betrifft hierbei insbesondere die Weiterentwicklung von Baustoffen, z. B. bezüglich ihrer Ermüdungs- und Standfestigkeitseigenschaften. Die Optimierung von Baustoffeigenschaften wird durch Analysen und Modellbildung auf der Nanoebene nachvollziehbar und letztlich erst dadurch gezielt beeinflussbar. Durch den Zusatz nanostrukturierter Materialzusätze und Bindemittel lassen sich in vielen Bereichen Verbesserungen bei der Verarbeitbarkeit und den Materialeigenschaften von Baustoffen erzielen. Anwendungen für die Verwendung nanoskaliger Zementzusatzstoffe bei der Optimierung von Betonwerkstoffen sind beispielsweise die Optimierung von Spritzbetonen oder die Entwicklung von säureresistenten Betonen für Kraftwerkskühltürme, die von der Firma HochTief realisiert worden sind. Durch die Dosierung von Nano-Kieselsäure an der Spritzdüse in den Nassstrom von Spritzbetonen kann auf die Verwendung umweltbelastender alkalischer Beschleunigungsmittel verzichtet werden und die gleichblei-

bende Qualität von Spritzbetonen verbessert werden. Das Verfahren ist mittlerweile auch für hochwertige Bauteile bauaufsichtlich zugelassen. Nano-Silica wird ebenfalls bei der Herstellung säureresistenter Betone für Kühltürme von Kraftwerken eingesetzt, um die die Feinststruktur und die chemischen Eigenschaften des Betons zu optimieren. Durch die Anwendung säureresistenter Betone kann auf die sonst übliche kostenintensive und wartungsanfällige organische Schutzbeschichtung verzichtet werden.



Ergebnisse von Schlacketesten auf unterschiedlich beschichteten Rohren: Die grüne Beschichtung ist nahezu inert gegen fast alle Testschlacken. Zum Vergleich ist ein unbeschichtetes Rohr abgebildet (rechts), das sehr stark angegriffen wird. (Quelle: ITN Nanovation)

Eine andere Nanotechnologie-Anwendung im Kraftwerksbau betrifft keramische Beschichtungen, die zum Schutz von Kraftwerkskesseln, Wärmetauscherrohren und Elektrofiltertrichtern vor Korrosion und Anhaftungen durch Schlacke und Ascherückständen eingesetzt werden. Derartige Schichtsysteme, die von der Firma ITN Nanovation entwickelt und bereits in mehreren Ländern im Praxiseinsatz erprobt werden, basieren auf einer Kombination von Bornitrid



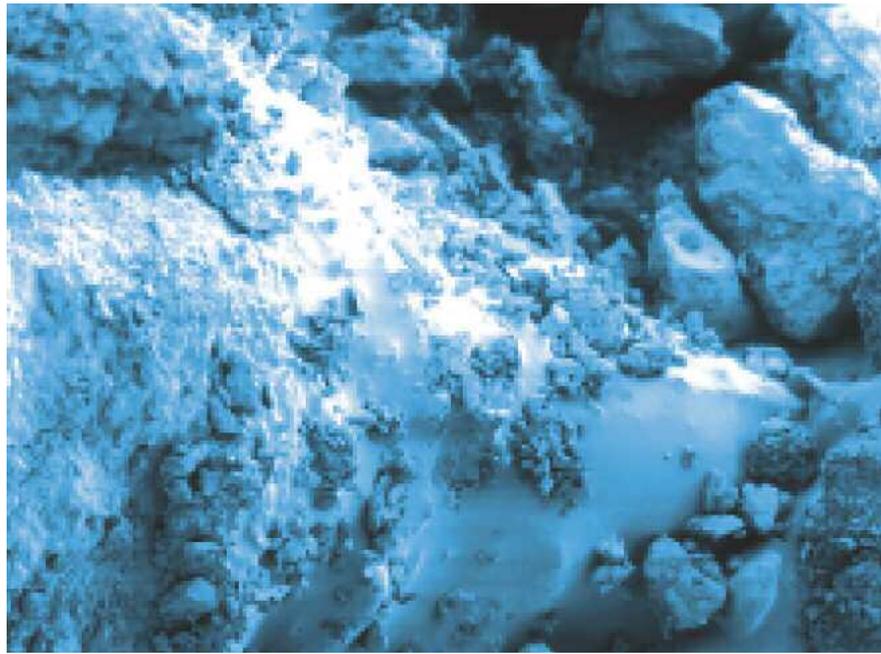
Links / Mitte: Säureresistenter Beton unter Verwendung nanoskaliger Zusatzstoffe ermöglicht deutliche Kostenvorteile beim Bau von Kraftwerkskühltürmen durch einen Verzicht auf organische Schutzbeschichtungen (Quelle: HochTief)

Rechts: Dosierung von Nano-Kieselsäure an der Spritzdüse in den Nassstrom sorgt für eine gleichmäßig hohe Qualität bei der Verarbeitung von Spritzbetonen (Quelle: HochTief)

mit anorganischen nanoskaligen Bindemitteln, die sehr niedrige Einbrenntemperaturen sowie eine hohe Festigkeit und Haltbarkeit ermöglichen. Durch diese Beschichtungssysteme kann die Betriebszeit von Verbrennungskesseln deutlich erhöht und die Wartungs- und Ausfallkosten der Wärmetauschanlagen und Filtersysteme deutlich reduziert werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld der Nanotechnologien ist die Optimierung von ultrahochfesten Betonen, die theoretische Druckfestigkeiten bis zu 800 N/mm^2 erreichen können. Gegenüber Normalbeton erfordern ultrahochfeste Betone die Optimierung einer Vielzahl baustoffspezifischer Parameter, wobei das Verständnis und die Kontrolle der hochkomplexen Wechselwirkungen der Mischungsbestandteile untereinander von entscheidender Bedeutung sind. So kann beispielsweise über nanoskalige multifunktionale Beschichtungssysteme die Leistungsfähigkeit von Textilbeton durch die Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit der Glasfasern sowie durch die Verbesserung der Spannungsübertragung und Haftung zwischen der Faser und der umgebenden Zementmatrix noch weiter gesteigert werden. Lebensdauer und Tragfestigkeit der Verbünde können durch die verschiedenen Effekte der Beschichtungen erheblich heraufgesetzt werden. Hieraus ergeben sich mögliche Anwendungen im Bau von für weitgespannte Brücken, Hallen, Schalenbauwerke, hochbelasteten Stützen und bei der Instandsetzung von Tragwerken. Die erste Brücke Deutschlands aus ultrahochfestem Beton wurde Anfang 2005 in Kassel von dem Eichenzeller Unternehmen ELO-Beton in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel (Prof. Dr. Michael Schmitt und Prof. Dr. Ekkehard Fehling, siehe Praxisbeispiel) errichtet. Die erhöhte Dauerhaftigkeit macht ultrahochfeste Betone auch für Anwendungen im betonaggressiven Milieu interessant, z. B. im Kanalisations- und Anlagenbau der chemischen Industrie.

Auch im Straßenbau bieten sich Potenziale für Kosteneinsparungen und technische Innovationen. Die mechanische Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Straßenbelägen lassen sich durch die Optimierung der chemischen und strukturellen Zusammensetzung der Asphaltmischungen durch verbesserte Bindemittel und Zuschlagstoffe signifikant erhöhen. Innovationen werden insbesondere durch ein zunehmendes Verständnis der Materialwechselwirkungen auf der Nanoskala erwartet. Dadurch eröffnen sich zunehmend Möglichkeiten, die Eigenschaften von Asphalt- und Betonbefestigungen den jeweiligen mechanischen und klimatischen Anfor-



derungen im Straßenbau optimal anzupassen. Durch eine längere Haltbarkeit und längere Wartungszyklen bieten sich Potenziale für erhebliche wirtschaftliche Einsparungen. Ein weiteres Anwendungsfeld ist offener Asphalt, der in der Öffentlichkeit auch häufig „Flüsterasphalt“ genannt wird. Durch seine poröse Struktur wird der Straßenlärm bereits an der Entstehungs-Quelle: (Reifen-Fahrbahn-Kontakt) vermieden bzw. gedämpft. Der Schall wird hierbei durch die offenporige Struktur des Asphalts regelrecht „geschluckt“. Das Hauptproblem von offenporigem Asphalt (OPA), das bislang eine größere Verbreitung in Deutschland verhindert hat, liegt in der Verschmutzung bzw. Verstopfung der Poren und der damit verbundenen nachlassenden Lärminderungswirkung bereits nach wenigen Jahren. In aktuellen Forschungsprojekten wird untersucht, inwieweit sich durch eine hydrophobe bzw. superhydrophile Innenbeschichtung der Asphaltporen (vgl. Lotuseffekt bzw. photokatalytischer Effekt) die Verschmutzungsneigung reduziert werden kann.

Photokatalytische Anwendungen auf Basis nanostrukturierter Titandioxidschichten bieten weiterhin Potenziale, um die Verschmutzung von Fahrbahnmarkierungen, Verkehrsschildern, Straßen- und Tunnelbeleuchtungen zu reduzieren und dadurch Reinigungskosten einzusparen. Die Technologie ist insbesondere in Japan bereits weit verbreitet, in Deutschland noch überwiegend in der Entwicklung, aber auch schon in der Produktumsetzung, wie bei den photokatalytisch ausgerüsteten Pflastersteinen der Firma FCN aus Fulda.

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer verschmutzten OPA-Pore (Prof. Ressel, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Uni Dresden)

5 Praxisbeispiele aus Hessen

5.1 Nanotechnologien zur Optimierung von ultrahochfestem Beton



Links: Hybridkonstruktion aus Raumfachwerk mit Obergurten und Fahrbahnplatte aus Ultra-Hochfestem Beton (UHPC)

Oben: Fertigteile aus UHPC für das Brückendeck

An der Universität Kassel (Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling) wurde ein Ultra-Hochleistungsbeton entwickelt, der es aufgrund seiner stahlähnlichen Druckfestigkeit von rd. 200 N/mm^2 ermöglicht, besonders nachhaltige, filigrane und dennoch hoch tragfähige und korrosionsbeständige Bauwerke zu erstellen. Die hohe Leistungsfähigkeit beruht wesentlich darauf, dass zusätzlich zum Zement leicht lösliche, hoch reaktive nanoskalige Kieselsäure (SiO_2) verwendet wird und dass die Kornzusammensetzung des Betons im Nano- und Mikrobereich durch gezielte Zugabe weiterer mineralischer Füllstoffe so optimiert wird, dass das Gefüge des erhärteten Zementsteins besonders dicht und fest wird. Durch besondere Herstelltechniken sind sogar Druckfestigkeiten von 500 N/mm^2 möglich. Nach mehreren Pilotbrücken in Niestetal bei Kassel wird der neue Hochleistungsbeton beim Bau der rd. 140 m langen Gärtnerplatzbrücke über die Fulda erstmals in Deutschland großtechnisch angewendet. Das sehr innovative Bauwerk wurde vom Kasseler

Ingenieurbüro Fehling & Jungmann geplant und wird von der Firma Beck Bau in Eschwege gebaut. Sein Brückendeck besteht aus nur etwa 8 bis 12 cm dicken Betonfertigteilen, die von der Eichenzeller Firma ELO-Beton hergestellt wurden. Bis zu 6 t schwere Fahrzeuge können die filigrane Fußgänger- und Radbrücke befahren. Die hohe Oberflächenfestigkeit des Betons macht es außerdem möglich, dass bei dieser Brücke erstmals in der Welt tragende Bauteile aus Beton direkt miteinander verklebt und nicht mechanisch miteinander verbunden werden. Bemerkenswert ist auch, dass die neue Bauweise trotz aller Vorteile hinsichtlich Rohstoff- und Energieeinsparung, Konstruktion und Dauerhaftigkeit schon bei ihrer ersten Anwendung nicht wesentlich teurer war als eine herkömmliche Beton- oder Stahlbrücke. Das Bauwerk wurde zur Eröffnung der documenta XII fertig gestellt. Die hohe Dauerhaftigkeit macht ultrahochfesten Beton auch für Anwendungen im betonaggressiven Milieu interessant, z. B. im Kanalisations- und Anlagenbau.



KONTAKT

Universität Kassel
Institut für konstruktiven Ingenieurbau
FG Werkstoffe des Bauwesens

Prof. Dr. M. Schmidt
m.schmidt@uni-kassel.de

Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel
Telefon 0561 804-2601, Fax -2662

www.uni-kassel.de/fb14/baustoffkunde

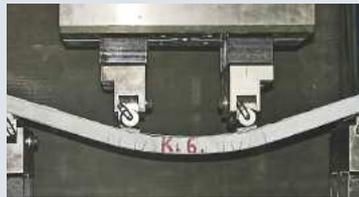
5.2 Nanotechnologien für hohe Beanspruchungen

Bei HOCHTIEF Construction AG sind die Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Nanotechnologie auf mineralische zementgebundene Werkstoffe konzentriert. Im Technologiezentrum von HOCHTIEF Consult Materials wird insbesondere an der Optimierung von Betonen und Mörteln gearbeitet, um gezielte Eigenschaften zu steuern.

Bereits vor ca. 20 Jahren wurden Betone für den Tunnelbau optimiert, die durch Zusatz von Nanowerkstoffen bereits im flüssigen Zustand so resistent gegen Druckwasser waren, dass sie gegen drückendes Wasser verarbeitet werden konnten. Dabei zeigte sich, dass die Betone aufgrund ihrer Oberflächenreaktionen trotz Einsatz von Entschalungsmitteln extrem an der Schalhaut anhafteten. Auch als Unterwasserbeton wurden derart vergütete Betone eingesetzt, so dass sie im frischen Zustand nicht entmischen konnten.

In den vergangenen Jahren wurden Hochleistungsbetone optimiert. Durch den Zusatz von Nanowerkstoffen wurde ein Spritzbeton entwickelt, dem durch Zusatz von Nanosilica kurzfristig Wasser entzogen wurde, um das Ansteifungsverhalten zu beschleunigen. Ebenfalls durch Zusatz von Nanofeinstoffen wurde gemeinsam mit der TU Berlin ein säureresistenter Beton für den Einsatz in Kühltürmen oder Abwasserleitungen entwickelt. Die Optimierung des Kornaufbaus durch Einsatz unterschiedlichster Feinstoffe führt zur dichtesten Kornpackung auch im Nanobereich und damit zum erhöhten Widerstand der zementgebundenen Matrix bei Säureangriff. Der Widerstand des Betons gegenüber einem Säureangriff wurde durch den Einsatz von Nanowerkstoffen signifikant verbessert.

Die neueste Weiterentwicklung stellt der von der DUCON GmbH in Mörfelden-Walldorf entwickelte Hochleistungsbeton DUCON dar. DUCON ist ein extrem duktiler, hochfester Stahlbeton, bei dem sowohl die Matrix wie auch die Bewehrung optimiert werden. Als Betonmatrix werden hoch- und ultrahochfeste Feinbetone, optimiert durch Einsatz nanoskaliger Feinstoffe, verwendet. Die extreme Duktilität des Betons wird mit dem Ersatz der klassischen Stahlbewehrung durch feinmaschige punktgeschweißte Drahtnetze erreicht. Die Eigenschaften



Einsatzmöglichkeiten von DUCON

DUCON im Biegeversuch

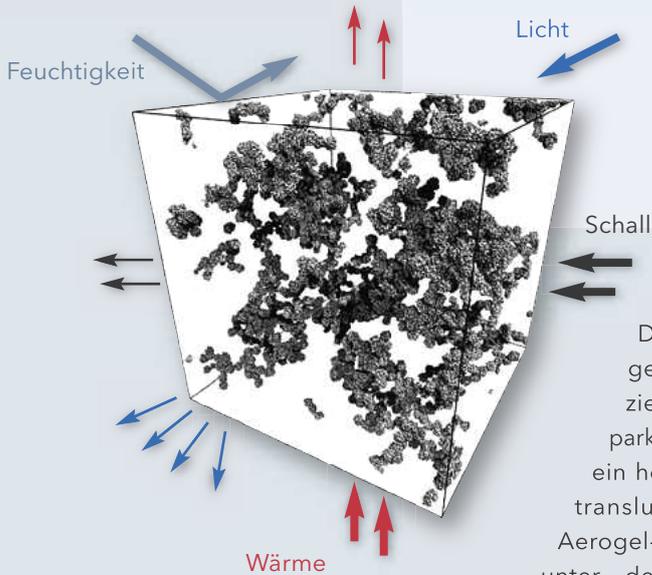
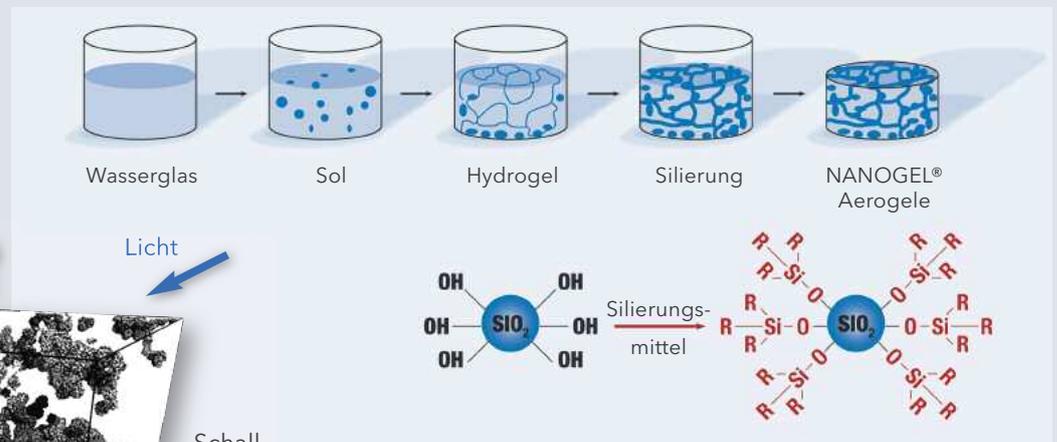
des Betons nähern sich denen des Stahls an. Einsatzmöglichkeiten sind dünne Verschleiß- und Dichtflächen, hochduktile dünne Schalenträgerwerke (z. B. Stahl-Verbundbauteile) oder im Bereich Gebäudesicherheit. Durch die extreme Duktilität des Werkstoffs weist der Beton einen extremen Widerstand gegen Explosionsbeanspruchung und Beschuss auf, bei gleichzeitiger Splitterfreiheit. Gemeinsam mit der DUCON GmbH wird HOCHTIEF den Baustoff für weitere Anwendungsgebiete, wie z. B. Spritzbeton und Spannbeton, weiterentwickeln.

Auch im Bereich Architektur finden die extrem dünnen Bauteile als Fassadenplatten oder als tragende Bauteile Anwendung.

KONTAKT

HOCHTIEF Construction AG
Consult Materials
Prof. Claus Flohrer
claus.flohrer@hochtief.de
Farmstraße 91-97
64546 Walldorf-Mörfelden
Telefon 06105 7001-130
Telefax 0201 824-99118
www.hochtief-consult.de

5.3 Wärme- und schallisolierte Fassaden mit Aerogelmaterialien



Die Cabot Nanogel GmbH produziert im Industriepark Frankfurt-Höchst ein hochporöses und transluzentes Silica-Aerogel-Material, das unter der Bezeichnung Nanogel® vermarktet wird.

Die extrem hohe Porosität des Materials sorgt für eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und verlangsamt die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft, sodass Nanogel® über hervorragende Wärmedämm- und Schallschutzeigenschaften verfügt. Nanogel® ist außerdem permanent wasserabweisend und somit beständig gegen Feuchte und Schimmelbildung.

Für diese Eigenschaften erhielt Nanogel® die Auszeichnung als „Top 10 Green Building Product“ der Zeitschrift Sustainable Industries Journal. Aufgrund der Lichtdurchlässigkeit eignet sich Nanogel® für energiesparende Außenfassaden mit Tageslichtbeleuchtung, z. B. für Lichthöfe, Museen, Stadien, Oberlichter, Trennwände oder komplette Wandsysteme.

Dämmelemente aus Polycarbonat-Stegdoppelplatten mit einer Füllung aus Nanogel® transluzentem Aerogel von Cabot erschließen überlegene Wärme- und Schalldämmwerte und bewirken zugleich eine ausgezeichnete Grundhelligkeit mit angenehmem Streulicht.

Die guten Dämmwerte und insbesondere das geringe Gewicht von Nanogel® ermöglichen flexible Konstruktionen mit relativ dünnen Wandquerschnitten. Es wurden bereits eine Vielzahl von Praxisanwendungen realisiert, wie die Außenfassaden eines Apartmenthauses in München-Schwabing oder eines Medienzentrums in Briissous-Forges (Frankreich).



Beispiele lichtdurchlässiger Aerogelfassaden in der Praxisanwendung



KONTAKT

Cabot Nanogel GmbH

Georg Gertner

georg_gertner@cabot-corp.com

Industriepark Höchst, D660

65926 Frankfurt am Main

Telefon 069 305-29331, Fax -22103

www.nanogel.com

5.4 Einsatz innovativer Nanotechnologien im Fertighausbau

Moderne Häuser müssen mehr bieten als reine Funktionalität; der anspruchsvolle Kunde erwartet eine Wohnimmobilie mit Mehrwert. Der Fertighaushersteller Rensch-Haus setzt daher auf Nanotechnologien als innovative Applikationen im Hausbau. Haupteinsatzgebiete sind Anwendungen im Bereich Außen- und Innenfassaden sowie der Verglasung. Die Funktionalisierung von Oberflächen wird durch den Einsatz von Nanotechnologien um den Schutz der Fassade vor Verschmutzung und biologischen Anhaftungen erweitert.

Insbesondere im Bereich der Außenfassaden verspricht der Einsatz von Nanotechnologien einen langfristigen Erfolg. Denn bei den modernen, gut gedämmten Fassaden sind die Außenflächen aufgrund der Temperaturabsenkung durch geringere Wärmeverluste anfällig für den Befall durch Algen und Flechten. Nanotechnologische Versiegelungen bieten Lösungsmöglichkeiten für den Schutz und Werterhalt von Wohnimmobilien. Die Nanoprodukte verringern durch ihre wasserabweisende Wirkung das Anhaften von Schmutzpartikeln etc. an der Fassade und verhindern das Eindringen von Feuchtigkeit in die Oberfläche. Das Anhaften von Schmutzpartikeln wird somit reduziert und eine Selbstreinigung der Fassade durch Regen gefördert. Auch im Innenbereich des modernen Hausbaus finden Nanotechnologien sinnvolle Verwendung, z. B. bei den von Rensch-Haus verwendeten Fliesen- und Fugenmörteln der Firma PCI, die durch Bindemittelzusätze eine kontrollierte Ausbildung von Nanostrukturen in der Zementmatrix und dadurch deutlich verbesserte Hafteigenschaften aufweisen.

Der Einsatz von Nanotechnologien im Hausbau gehört für Rensch-Haus bereits zum Stand der Technik. Viele nanotechnologische Entwicklungen haben sich in der Praxis bewährt und werden eingesetzt, um den gestiegenen Kundenanforderungen hinsichtlich Haltbarkeit und Gebrauchsnutzen ihres Hauses entgegen zu kommen. Nanotechnologische Innovationen werden von Rensch-Haus in Zukunft weiterhin aktiv vorangetrieben, um die Konkurrenzfähigkeit am Markt langfristig auszubauen. Rensch-Haus setzt hier auf die Wertsteigerung von Neubauten durch nanotechnologische Innovationen. Alt-Kunden bietet das Unternehmen die Nachrüstung an, um den Werterhalt ihres Eigentums zu sichern.

Die Rensch-Haus GmbH mit Stammsitz in Kalbach in der hessischen Rhön wird in der fünften Generation



von der Familie Rensch geführt. Mit Vertriebsstandorten in Deutschland, Österreich, Schweiz und Italien sowie derzeit 160 Beschäftigten zählt das Unternehmen zu einem der großen Arbeitgeber der Region. Mit dem Einsatz von Nanotechnologien im Bereich des Fertigbaus setzt der Haushersteller seinen Weg fort, in der 130-jährigen Firmengeschichte die Traditionen des Holzhandwerks stets mit innovativen Entwicklungen zum Vorteil des Kunden zu verbinden.

Dazu nutzt Rensch-Haus direkte Kooperationen mit Nanotechnologie-Zulieferern, die entsprechende Produkte zur Versiegelung von Putz-, Glas- und Holzfasadenelementen sowie Dachziegeln bereitstellen, beispielsweise die Firma Natepro aus dem hessischen Schlüchtern.

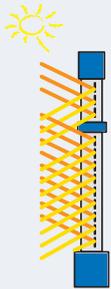
Der Fertighaushersteller Rensch-Haus setzt zur Wertsteigerung seiner Häuser auf innovative Nanotechnologien zum Schutz von Fassaden- und Glasflächen.

KONTAKT

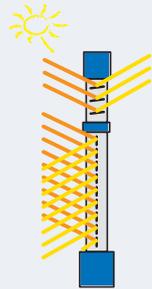
Rensch-Haus GmbH
Christoph Kött
ch.koett@rensch-haus.com

Mottener Straße 13, 36148 Kalbach
Telefon 09742 91-171, Fax -4171
www.rensch-haus.com

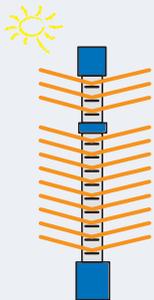
5.5 Innovative Lichtlenksysteme auf der Basis von Mikrospiegelarrays



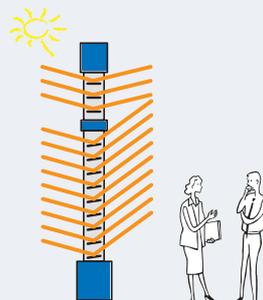
**Sommer, heißer Tag,
Abwesenheit von Personen**
Hitzeschutz



**Sommer, heißer Tag,
Anwesenheit von Personen**
Hitzeschutz und Blendschutz
im unteren Bereich, Lichtlenkung
an die Decke im oberen Bereich



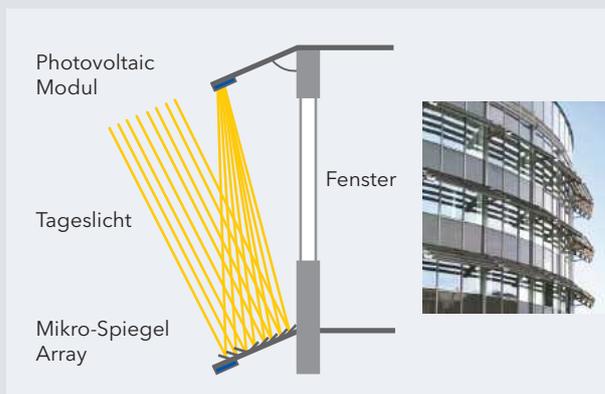
**Winter, Abwesenheit
von Personen**
Wärmetransport
in den Raum



**Winter, Anwesenheit
von Personen**
Wärmetransport und
Lichtlenkung in den Raum

Oben: Funktionalität von mikrospiegelunterstützten „Aktiven Fenstern“

Sensorgeführte Sonnenstandsnachführung in Mikrospiegelarrays zur Lichtkonzentration



Eine innovative Entwicklung der Universität Kassel im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien könnte in Zukunft konventionelle Blendschutzsysteme überflüssig machen und für eine optimierte Tageslichtausleuchtung und Wärmeregulation in Gebäuden sorgen. Die Innovation basiert auf Mikrospiegelmodulen, die aus Milliarden einzelner Elemente bestehen und zwischen den Scheiben konventioneller-Isolierverglasungen implementiert werden. Diese

lenken Licht gezielt in die Raumtiefe und reflektieren gleichzeitig störendes Blendlicht zurück. Derartige „Aktive Lichtlenkfenster“ sind energiesparend, kostengünstig, extrem langlebig und wartungsarm. Aufgrund der Kleinheit der Strukturen werden die Spiegelelemente vom Auge als Einzelkörper nicht wahrgenommen. Es ergibt sich, je nach Stellung der Spiegel, der optische Eindruck einer mehr oder weniger starken Tönung. Für diese Entwicklung wurden Prof. Dr. Hartmut Hillmer und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid von der Universität Kassel mit dem „European Grand Prix for Innovation Award 2006“ ausgezeichnet. Diese Auszeichnung gilt in der Fachwelt als eine Art europäischer „Nobelpreis“ für angewandte Forschung. Gemeinsam mit der Firma „von Waitz'sche Beteiligungen“ entwickeln die Kasseler Forscher im Rahmen eines von der „Deutschen Bundesstiftung Umwelt“ geförderten Projektes zunächst einen Prototyp. Folgende Anwendungsgebiete können durch die neuartige Technologie adressiert werden:

- Aktive Fenster in Gebäuden und mobilen Systemen
- Neuartige Klimatisierungstechnologie
- Sonnenlichtkonzentration in der Photovoltaik für Gebäudefassaden und Heliostate
- Fassaden als großformatige Displays
- Intelligentes Frontscheinwerferlicht in mobilen Systemen
- Farbeinstellungen für Räume und Fassaden
- Intelligente Lampenschirme (Kunstlichtlenkung)

Zukünftige Herausforderungen für die breite Anwendung liegen in der Entwicklung kostengünstiger großflächiger Prozesstechnologien sowie dem Einsatz geeigneter low-cost-Materialien.

KONTAKT

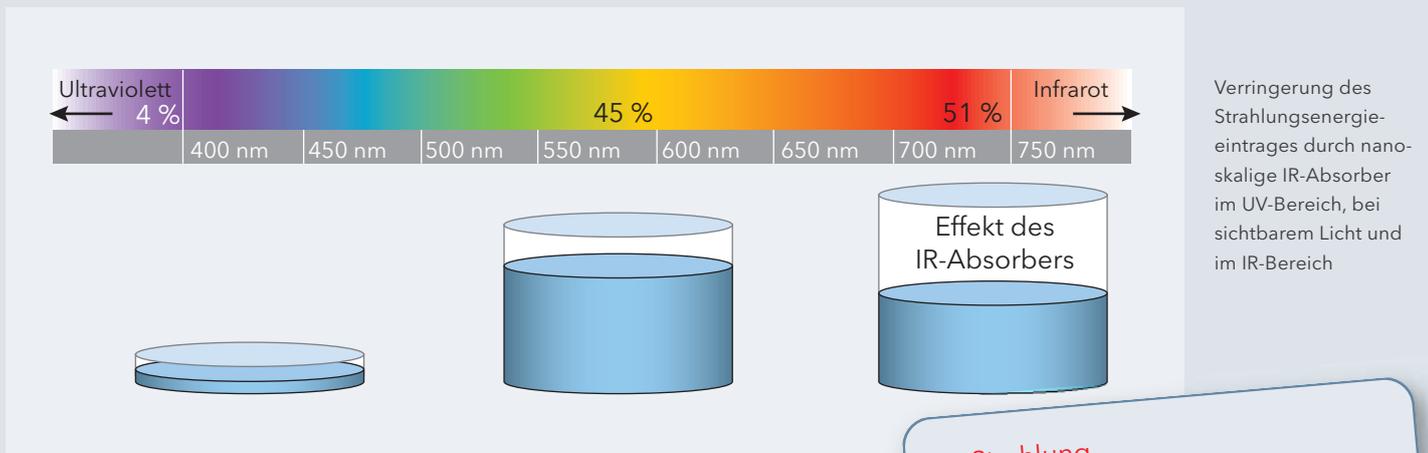
Universität Kassel
Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik
Fachgebiet: Technische Elektronik

Prof. Dr. H. Hillmer
hillmer@ina.uni-kassel.de

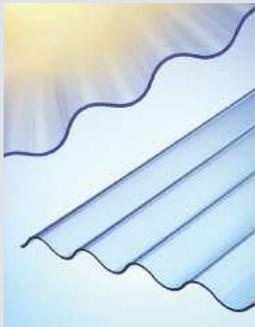
Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel
Telefon 0561 804-4885, Fax -4488

www.uni-kassel.de/fb16/te/start.shtml

5.6 Transparenz und Hitzeschutz bei Dachverglasungen



Wärmeentwicklung und Hitzestaus unter Flächenverglasungen stellen schon immer eine große Herausforderung an Dachverglasungen dar. Deshalb fragt der Markt sehr eindringlich nach Kunststoff-Verglasungsmaterialien mit Hitze reflektierenden Eigenschaften.



Durch prismatische Strukturen oder Bedruckung der Oberfläche gelingt es, einen Teil der Wärme auszuschließen. Eine am Markt sehr erfolgreiche Lösung besteht auch darin, Infrarot reflektierende Füllstoffe in das Material einzubringen.

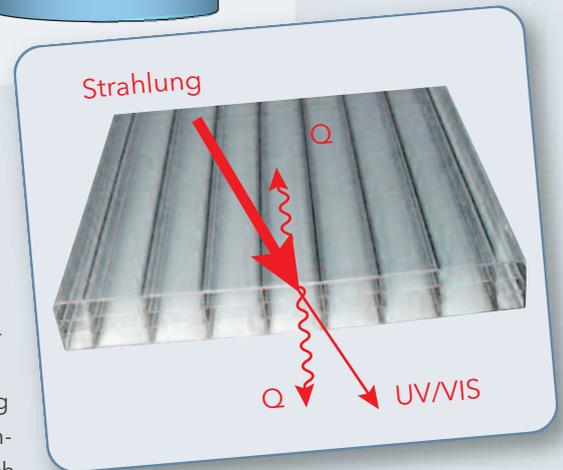
Die plättchenartigen Füllstoffe wirken dabei wie kleine Spiegel, die selektiv das infrarote Licht reflektieren. Diese Systeme haben jedoch alle den Nachteil, dass die Transparenz der Verglasung teilweise oder ganz verloren geht.

Ein ganz neuer Weg zu transparenten und Wärme reduzierenden Verglasungsprodukten eröffnet sich aus der Kombination von PLEXIGLAS® und funktionalen Nanomaterialien. Durch die Verkleinerung der Infrarot Absorber in den Nano-Maßstab bleibt die herausragende Transparenz von PLEXIGLAS® erhalten, da das sichtbare Licht nicht mehr an den Partikeln oder der Struktur gestreut wird. Der nanoskalige IR-Absorber nimmt die Sonnenstrahlung im nahen Infrarot-Bereich auf und wandelt sie in Wärme um. Über Konvektion wird die entstehende Wärmemenge abgeführt und kann so nicht zu einer Erwärmung im Innenraum führen.

Bei der gesamten Wärmebilanz ist allerdings zu beachten, dass der sichtbare Anteil des Sonnenlichtes einen wesentlichen Beitrag zum Energieeintrag ausmacht. Etwa 45 % der Erwärmung sind auf den Energieeintrag im sichtbaren Bereich zurückzuführen.

Durch geschickte Auswahl von nanoskaligen Breitband-Absorbern lässt sich auch der Energieeintrag im sichtbaren Bereich zusätzlich reduzieren. Neben einer angenehm abgetönten Optik kann damit die Selektivitätskennzahl weiter verbessert werden und der Wärmeeintrag signifikant vermindert werden.

Die farbneutralen Produkte der PLEXIGLAS HEATSTOP® transparent-Reihe vereinen die guten thermischen Eigenschaften der bekannten Reihe PLEXIGLAS HEATSTOP opal mit der Forderung nach Transparenz und Hagelbeständigkeit.



KONTAKT

Röhm GmbH
 Degussa - Business Unit Methacrylates
 Jürgen Jourdan
 juergen.jourdan@degussa.com
 Kirschenallee, 64293 Darmstadt
 Telefon 06151 18-01, Fax -02
 www.plexiglas.de

5.7 Nanopartikel für antibakterielle Lacke



Die Lackfabrik Alfred Clouth in Offenbach beschäftigt 250 Mitarbeiter bei einem Jahresumsatz von 30 Mio. Euro. Im Bereich der Holzveredelung setzt das mittelständische Unternehmen auf innovative Produkte durch Nanotechnologien und erhielt für die Entwicklung eines wasserverdünnbaren Klarlacks mit antibakterieller Wirkung den Innovationspreis des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Der neue Holz-Klarlack weist antibakterielle Eigenschaften durch frei gesetzte Silber-Ionen auf, die an Bakterien und Pilzen andocken und deren Atmung und Stoffwechsel blockieren, sodass diese absterben. Die im AntiBak-Holzlack enthaltenen nanoskaligen Silberpartikel sind so klein, dass sie im Klarlack nicht sichtbar werden und so fein verteilt sind, dass eine gleichmäßig hochwirksame antibakterielle und antifungizide Wirkung im gesamten Lackfilm erzielt wird.

Es ergeben sich hieraus zahlreiche Anwendungsgebiete, denn Holz wird häufig dort eingesetzt, wo viele Menschen und damit auch viele Bakterien unterwegs sind:

- Treppengeländer in einer Behörde, der Holztreppen in einem Geschäft oder die Stühle und Tische in Schulen und Kindergärten
- Türen und Wandverkleidungen in Arztpraxen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen oder die Sitzgelegenheiten in den dazugehörigen Wartezimmern
- Holzbänke in den Umkleieräumen von Sportstätten und Wellness-Einrichtungen oder Holzböden im Aufenthaltsbereich

Der neue Klarlack kann sowohl auf herkömmlichen Grundierungen aufgetragen werden als auch auf farbige Buntlacke. Um die gewünschte Wirkung zu erzielen, muss nur der letzte Auftrag mit AntiBak-Holzlack erfolgen.



KONTAKT

Alfred Clouth Lackfabrik GmbH & Co. KG

Alexander Eisenacher
alexander.eisenacher@clou.de

Otto-Scheugenpflug-Straße 2
63073 Offenbach am Main
Telefon 069 89007-0, Fax -143

www.clou.de

5.8 Caparol - Optimierte Fassadenfarben mit NanoHybrid-Technologie



Photokatalytisch wirkende Farbe kann die Raumluft verbessern

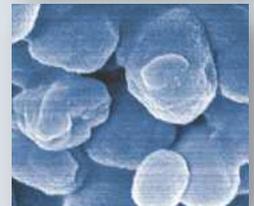
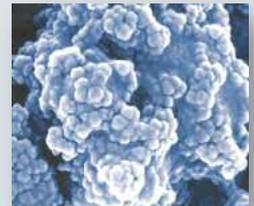
Caparol ist Marktführer für Baufarben in Deutschland und stellt mit etwa 850 Mio. € Umsatz das viertgrößte Unternehmen der Branche in Europa dar. Weltweit werden mehr als 4.000 Mitarbeiter beschäftigt - 1.300 davon sind am hessischen Standort Ober-Ramstadt tätig.

Zur Optimierung gewünschter Eigenschaften setzt Caparol bei bestimmten Produkten auch auf die Nanotechnologie. In der neuesten Generation von Fassadenfarben werden Bindemittel eingesetzt, in die während des Herstellungsprozesses des organischen Polymers nanoskalige Silika-Sol-Partikel eingebunden werden. In der Fassadenfarbe eingesetzt bilden diese Silika-Sol-Partikel im organischen Bindemittel während des Filmbildprozesses ein anorganisches Netzwerk aus, das den gesamten Beschichtungsfilm durchwirkt. Dadurch wird die Thermoplastizität der Oberfläche drastisch verringert und eine für Dispersionsfarben bislang unerreicht niedrige Anschmutzneigung der Beschichtung erzielt. Das Ergebnis der NanoHybrid-Technologie ist eine optimale Kombination der Vorteile mineralischer Fassadenfarben mit den Vorteilen der Dispersions- und Silikonharzfarbentechnologie.

Diese neue Generation von Fassadenfarben basierend auf der oben beschriebenen NanoHybrid-Technologie ist die konsequente Weiterentwicklung des CaparolCleanConcepts, welches neben der Sauberhaltung der Fassaden alle Aspekte der Optimierung eines Fassadenprodukts im Fokus hat. Z. B. erhalten die kapillaren Wandstrukturen der Farbe wasserabweisende Eigenschaften durch Siliconharzbindemittel

mit niedriger Oberflächenspannung. Dadurch wird die externe Wasseraufnahme reduziert, ohne dass eine Sperre für den aus dem Inneren des Gebäudes entweichenden Wasserdampf entsteht. So können Fassaden schnell austrocknen und dauerhaft trocken bleiben.

Im Innenraum sind emissionsminimierte und lösemittelfreie Produkte bereits seit über 20 Jahren Teil des Produktprogramms. In dem patentierten Produkt Sensitiv ist es Caparol erstmals gelungen, eine konservierungsmittelfreie Innenwandfarbe auf Basis wässriger Dispersionsbindemittel zu entwickeln, die speziell auf die Bedürfnisse sensibler Menschen wie z. B. Allergiker abgestimmt ist. In jüngster Zeit wurde die Entwicklung von Innenraumfarben forciert, die einen aktiven Zusatznutzen für den Verbraucher mit sich bringen (so genannte smart paints). Durch den Einsatz von photokatalytisch wirkenden Pigmenten wie beispielsweise nanoskaliges Titandioxid können Schadstoffe an der Oberfläche zersetzt und aus der Raumluft entfernt werden.



Fassadenfarben im Vergleich: Deutlich ist auf den oberen Bild das Netzwerk aus anorganischen Silika-Sol-Nanopartikeln im Vergleich zu einer konventionellen Fassadenfarbe (unten) zu erkennen

KONTAKT

Deutsche Amphibolin-Werke
von Robert Murjahn Stiftung & Co KG

Dr. Dirk Then
dirk.then@daw.de

Roßdörfer Straße 50
64372 Ober-Ramstadt
Telefon 06154-71-1379, Fax -991379

www.caparol.de

6 Forschungsprogramme, Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten

6.1 Europäische Forschungsprojekte und -netzwerke

Reengineering of natural stone production chain through knowledge based processes, ecoinnovation and new organisational paradigms

Koordination: PEDRINI SpA-ad Unico Socio (I)
Förderung: EU FP6: Integrated Project

Intelligent Materials for Active Noise Reduction

Koordination: Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt (D)
Förderung: EU FP6: Integrated Project

Designed Nanoscale Heterogeneities for Controlling Water-Borne Pressure-Sensitive Adhesive Performance

Koordination: University of Manchester (GB)
Förderung: EU FP6: Specific Targeted Research Project

Industrialised, Integrated, Intelligent Construction

Koordination: Dragados S.A. (E)
Förderung: EU FP6: Integrated Project

Holistic Implementation of European thermal treated hard wood in the sector of construction industry and noise protection by sustainable, knowledgebased and value added products

Koordination: PROFACTOR Produktionsforschungs GmbH, (A)
Förderung: EU FP6: Integrated Project

Technology innovation in underground construction

Koordination: TU Graz (Österreich)
Förderung: EU FP6: Integrated Project

Nanostructured self-cleaning coated glasses: modelling and laboratory tests for fundamental knowledge on thin film coatings

Koordination: SAINT-GOBAIN (F)
Förderung: EU FP6: Specific Targeted Research Project

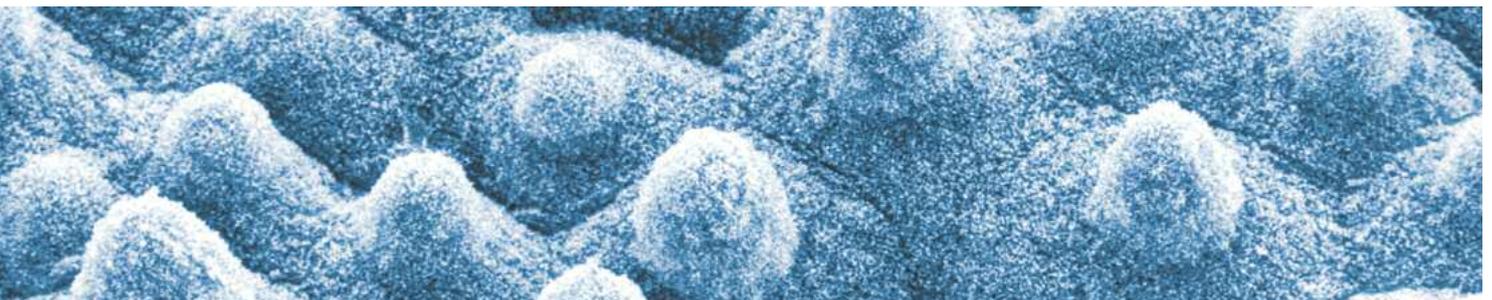
New economical and ecological solutions to reduce raw material costs of cement based products by utilizing microtechnology

Koordination: CT Heikkinen Oy (FIN)
Förderung: EU FP6: SMEs-Cooperative research contracts

Nanoscience of Cementitious Materials (Nanocem)

Koordination: EPFL Laussane (CH)
Förderung: eigenfinanziertes Kompetenz- und Forschungsnetzwerk (www.nanocem.org)

Information : <http://cordis.europa.eu/fp6/projects.htm>



6.2 Nationale Forschungsprojekte und -netzwerke

DFG

Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung

DFG-Sonderforschungsbereich
Koordination: TU Dresden

Sicherstellung der Nutzungsfähigkeit von Bauwerken mit Hilfe innovativer Bauwerksüberwachung

DFG-Sonderforschungsbereich
Koordination: TU Braunschweig

Textilbewehrter Beton - Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie

DFG-Sonderforschungsbereich
Koordination: RWTH Aachen

Nachhaltiges Bauen mit Ultra-Hochfestem Beton (UHPC)

DFG-Schwerpunktprogramm
Koordination: Uni Kassel

Intelligente Hydrogele

DFG-Schwerpunktprogramm
Koordination: Uni Dortmund

Information: www.dfg.de

BMBF

„Nanotechnologie im Bauwesen - NanoTecture: Erschließung höherer Ressourcen- /Energieeinspar- und Leistungspotenziale sowie neuer Funktionalitäten“

BMBF-Fördermaßnahme innerhalb des Rahmenprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft - WING“
Koordination: Projektträger Jülich und VDI Technologiezentrum GmbH

Information:

<http://www.bmbf.de/foerderungen/10471.php>

Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen unter Verwendung von Nanopartikeln - NanoBrand

BMBF-Verbundprojekt
Koordination: Fraunhofer ICT

Beschichtung von Oberflächen mit fotokatalytischen Nanopartikeln mit selbstreinigender und selbstdesinfizierender Wirkung

BMBF-Verbundprojekt
Koordination: UltraKat GmbH, Heidelberg

Wässrige Dispersionen für kratzfeste Beschichtungen auf der Basis von Acrylat-Nanokompositen

BMBF-Verbundprojekt
Koordination: Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung

Information: <http://www.bmbf.de/foerderungen/677.php>

Forschungsinitiative „Zukunft Bau“

Die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat das Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu stärken und bestehende Defizite, insbesondere im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen, zu beseitigen. Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung wird rund 30 Mio. Euro innerhalb der nächsten vier Jahre für diesen Zweck in Form von Zuwendungen oder Aufträgen zur Verfügung stellen.

Information:

www.bbr.bund.de/cIn_005/nn_66474/DE/Forschungsprogramme/ZukunftBau/zukunftbau__node.html__nnn=true

Energieoptimiertes Bauen ENOB

Aufgrund der großen Energieeinsparpotenziale im Gebäudebereich führt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die langfristig angelegten Forschungsaktivitäten zur Verbesserung der Energieeffizienz auf diesem Gebiet fort. Dazu werden die Fördermaßnahmen für forschungsintensive Demonstrationsbauvorhaben „Energieoptimierter NeuBau - Gebäude mit minimalem Energiebedarf (EnBau)“ und „Energetische Verbesserung der Bausubstanz (EnSan)“ im Förderschwerpunkt ENOB zusammengelegt. Unterstützt werden zudem F&E-Vorhaben zu neuen Materialien, Komponenten und Systemen der Bautechnik sowie der technischen Gebäudeausrüstung.

Information:

www.fz-juelich.de/ptj/energieoptimiertes-bauen

6.3 Förderaktivitäten und Netzwerke in Hessen

Aktionslinie Hessen-Nanotech

Im Jahr 2005 startete das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung die Aktionslinie Hessen-Nanotech. Mit der Aktionslinie Hessen-Nanotech werden die hessenweiten wirtschafts- und technologiebezogenen Aktivitäten in den Nanotechnologien und den materialbasierten Technologien gebündelt und koordiniert. Ziel der Aktionslinie ist es, die hessischen Kompetenzen in den Nanotechnologien und in den angrenzenden Technologiebereichen wie der Material- und Oberflächentechnologie, Mikrosystemtechnologie und Optische Technologien national sowie auch international darzustellen. Durch Technologie- und Standortmarketing sowie der Förderung der Netzwerkbildung soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der hessischen Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt werden. Die Aktionslinie Hessen-Nanotech unterstützt dabei insbesondere auch die Vernetzung von Technologie-Anbietern und -Anwendern. Im besonderen Fokus stehen die in Hessen stark ausgeprägten Anwendungsbereiche Automotive, Chemie, Pharma, Biotechnologie und Medizintechnik, Bau, Umwelt und Energie sowie Informations- und Kommunikationstechnologie. An den Schnittstellen zu den Nanowissenschaften arbeitet die Aktionslinie Hessen-Nanotech mit dem NanoNetzwerkHessen zusammen. Projektträger der Aktionslinie Hessen-Nanotech ist die Hessen Agentur.

Hessen

Nanotech

KONTAKT

www.hessen-nanotech.de

- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung
Dr. Rainer H. Waldschmidt
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
Telefon 0611 815-2471
Telefax 0611 815-2225
rainer.waldschmidt@hmwvl.hessen.de
- HA Hessen Agentur GmbH
Alexander Bracht (Projektleiter Hessen-Nanotech)
Markus Lämmer
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 774-8664
Telefax 0611 774-8620
markus.laemmer@hessen-agentur.de
www.hessen-agentur.de

Das **NanoNetzwerkHessen** wurde mit Unterstützung der Hessischen Landesregierung von den fünf Universitäten und den fünf Fachhochschulen des Landes im März 2004 etabliert, um auf der Grundlage einer Kooperationsvereinbarung eine enge innovationsorientierte Zusammenarbeit im Bereich der Nanowissenschaften zu starten. Die Initiative NNH zielt darauf ab, die vorhandenen Kompetenzen an hessischen Hochschulen zu bündeln, Kooperationen zu initiieren und den Nanotechnologie-Standort Hessen weiter auszubauen. Koordinator des NanoNetzwerkHessen ist die Universität Kassel.

Forscherinnen und Forscher aus den Disziplinen Physik, Chemie, Biologie, Pharmazie, Medizin, Materialwissenschaften und den verschiedensten Fächern der Ingenieur- und sogar Geisteswissenschaften arbeiten an hessischen Hochschulen auf Gebieten der Nanowissenschaften. Gerade diese Durchdringung klassischer Disziplinen verstärkt ganz wesentlich das Innovationspotenzial dieser Wissenschaft und bietet in Hessen ausgezeichnete Ausgangsbedingungen für Kooperationen.

Die Technologien, die heute an hessischen Hochschulen vertreten sind, sind breit gefächert und reichen von nanoskaligen und nanostrukturierten Werkstoffen, Nanosystemtechnik über Nanomedizin, Nanomaterialchemie, Nanobiotechnologie bis hin zur Nanoanalytik. Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in diesen Feldern bereits im vorwettbewerblichen Bereich gemeinsam mit Wissenschaftlern, Entwicklern und Anwendern zu betreiben und damit Akteure, Ressourcen und Aktivitäten zusammenzuführen, eröffnet den Netzwerkpartnern nicht nur die Erschließung komplementärer Ressourcen, sondern verbindet auch Wissenschaft deutlicher als bisher mit wirtschaftlicher Anwendung und trägt damit zu einer schnelleren Umsetzung von nanotechnologischem Wissen in Produkte, Produktionsverfahren und Dienstleistungen bei.


NANONetzwerkHESSEN

KONTAKT

www.nanonetzwerkessen.de

- Dr. Beatrix Kohnke
(Leitung der Geschäftsstelle)
Kai Ludolph (Projektmanager)
Mönchebergstraße 19
34109 Kassel
Telefon 0561 804-2219
Telefax 0561 804-2226
management@nanonetzwerkessen.de

Im **TechnologieTransferNetzwerk Hessen** (TTN-Hessen) haben sich seit 2001 die hessischen Hochschulen und die führenden Wirtschaftsverbände zusammengeschlossen, um das vorhandene Angebot zur Förderung des Wissens- und Technologietransfers miteinander zu vernetzen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zum wissenschaftlichen und technologischen Potenzial der Hochschulen und Forschungseinrichtungen zu erleichtern.

Um dieses Ziel gerade im Bereich der Nanotechnologien umsetzen zu können, arbeitet das TTN-Hessen eng mit seinen Netzwerkpartnern sowie den Aktionslinien Hessen-Nanotech und Hessen-Biotech zusammen. Typische Beispiele für diese Zusammenarbeit sind gemeinsam durchgeführte Unternehmensbefragungen und technologieorientierte Veranstaltungen. Bei der IHK-Innovationsberatung Hessen in Darmstadt, Gießen, Fulda, Kassel und Offenbach wurden regionale Beratungsstellen für Technologietransfer eingerichtet. Sie haben die Aufgabe, aktiv auf die Unternehmen zuzugehen und Hilfestellung beim Zugang zum anwendungsorientierten Know-how der Hochschulen anzubieten. Begleitend steht unter www.ttn-hessen.de eine gemeinsame Plattform zur Vermarktung von Kooperationsangeboten der Hochschulen zur Verfügung.

Unter dem Dach des TTN-Hessen haben sich die hessischen Hochschulen zur gemeinsamen Patent-Verwertungsoffensive H-IP-O zusammengeschlossen. Ansprechpartner sind die Patentverwertungsagenturen GINo, INNOVECTIS und TransMIT. Sie betreuen Erfinder bei Schutzrechtsanmeldungen und Verwertungsverträgen auch auf dem Gebiet der Nanotechnologien.

Das TTN-Hessen wird unterstützt und kofinanziert durch die hessischen Ministerien für Wirtschaft und für Wissenschaft, die HA Hessen Agentur GmbH (Geschäftsstelle), die Arbeitsgemeinschaft hessischer IHKs und den Europäischen Sozialfonds (ESF).

Hessen

TTN

KONTAKT

www.ttn-hessen.de

- HA Hessen Agentur GmbH
Dr. Gerrit Stratmann (Projektkoordination)
Abraham-Lincoln-Straße 38-42
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 774-8691
Telefax 0611 774-58691
gerrit.stratmann@hessen-agentur.de
www.hessen-agentur.de

Seit Anfang der 80er Jahre bieten die hessischen IHKs einen besonderen, kostenfreien Service, um Unternehmen bei ihren Innovationsanstrengungen zu unterstützen: die **IHK-Innovationsberatung Hessen**.

In einer Zeit, in der Technologie- und Marktveränderungen immer kürzere Innovationszyklen vorgeben, bietet das Kompetenzzentrum insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen seinen unternehmens- und praxisnahen Service an. Die IHK-Innovationsberatung ist neutraler Informationsmakler und begleitet aktiv die Vernetzung und Clusterbildung von technologieorientierten Unternehmen und Forschung.

Neben konkreten Innovationshilfen, wie beispielsweise einer individuellen Beratung sowie Publikationen, fördern die hessischen IHKs den intensiven Austausch zwischen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik durch technologie- und branchenorientierte Veranstaltungen. Ein besonderer Fokus liegt seit 2004 auf den Nanotechnologien und deren Potenziale für die Wirtschaft. So wurde gemeinsam mit den regionalen Beratungsstellen des TechnologieTransferNetzwerk Hessen und dem Wirtschaftsministerium eine Veranstaltungsreihe aufgelegt, welche die Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologien in verschiedenen Branchen näher beleuchtet. Die Themen gehen von „Nanotechnologien im Auto von morgen“ über „Nanotechnologien in der Medizintechnik“ bis hin zur „Nano-Elektronik“ und „Nano-Oberflächentechnik“.



KONTAKT

www.itb-hessen.de

- IHK-Innovationsberatung Hessen
Detlev Osterloh (Leiter)
Telefon 069 2197-1219
d.osterloh@frankfurt-main.ihk.de

Zentrale Frankfurt:
c/o Industrie- und Handelskammer
Frankfurt am Main
Börsenplatz 4
60313 Frankfurt am Main
Telefon 069 2197-1427
Telefax 069 2197-1484
itb@frankfurt-main.ihk.de

7 Statements von Verbänden zu Nanotechnologien im Bauwesen

Zentralverband Deutsches Baugewerbe

Die Nanotechnologien haben als vergleichsweise junge, innovative Technologie bereits eine beeindruckend breite Anwendungspalette aufzuweisen. Auch in der Architektur und im Bauwesen werden die Nanotechnologien erfolgreich angewendet. Der Zentralverband Deutsches Baugewerbe als Dachverband der mittelständischen Bauwirtschaft mit ca. 35.000 Mitgliedsbetrieben begreift die Nanotechnologien als die Chance zu einer breitgefächerten innovativen Entwicklung im Bauwesen. Das deutsche Baugewerbe ist für Innovationen stets aufgeschlossen und wird in seinen verschiedenen Sparten die Entwicklung der Nanotechnologien begleiten und umsetzen.



ZENTRALVERBAND
DEUTSCHES
BAUWERBE ZDB

KONTAKT
www.zdb.de

- Zentralverband Deutsches Baugewerbe
Kronenstraße 55-58
10117 Berlin
Telefon 030 20314-0
Telefax 030 20314-420
Bau@zdb.de

Für den Bereich der Gebäudehülle haben die Nanotechnologien über die Hydrophobierung von Oberflächen hinaus schmutzabweisende Fassadenbeschichtungen sowie selbstreinigende Ziegel-, Keramik- und Glasoberflächen hervorgebracht, die heute bereits als bewährte Techniken gelten können. Durch die Nanotechnologien werden neue Wärmedämmstoffe mit gegenüber konventionellen Wärmedämmstoffen erheblich verbessertem Wärmedämmverhalten ermöglicht. Die Vielseitigkeit der Nanotechnologien zeigt sich in der Entwicklung optimierter Brennstoff- und sogenannter Farbstoff-solarzellen, deren Wirkungsgrade erheblich verbessert werden konnten. Mit den beiden vorbeschriebenen Entwicklungen erwachsen neue Chancen für eine nachhaltige Energieeinsparung bei Gebäuden und einen effektiven Klimaschutz.

Im Bereich des baulichen Brandschutzes wurden mit Hilfe der Nanotechnologien modifizierte Kunststoffe mit verbesserten brandschutztechnischen Eigenschaften sowie neue Brandschutzbeschichtungen und transparente Brandschutzgele für Brandschutzverglasungen entwickelt. Ein weiteres Anwendungsgebiet finden die Nanotechnologien in der Optimierung von Beton- und Mörtelrezepturen, wobei durch auf Nanopartikeln basierende Zusatzmittel die Beton- und Mörtel-eigenschaften den spezifischen Anforderungen angepasst werden können. Auch die Entwicklung von Baumaschinen wird durch die nanotechnologische Optimierung von Oberflächen im Hinblick auf deren Härte, Verschleiß-eigenschaften etc. einen Innovations-schub erfahren, der neben einer längeren Lebensdauer auch der Leistungsfähigkeit der Maschinen und somit der Produktivität zugutekommen wird.

Es kann zusammenfassend ausgesagt werden, dass die Nanotechnologien bereits heute in verschiedenen Bereichen der Architektur und des Bauwesens erfolgreich angewandt wird. Der Zentralverband Deutsches Baugewerbe begrüßt eine Förderung von Forschungs- und Pilotprojekten zur Weiterentwicklung der Nanotechnologien im Bauwesen.

Mit Sicherheit steht noch eine weitere, spannende Entwicklung der Nanotechnologien bevor. Die mittelständische Bauwirtschaft wird diese Entwicklung aufgreifen und zur Innovation im Bauwesen nutzen.

Deutsche Bauchemie e.V.

Im Industrieverband Deutsche Bauchemie e.V. sind aktuell 110 Mitgliedsunternehmen – vom Global Player bis zum kleineren Mittelständler – zusammengeschlossen. Der Verband mit Sitz in Frankfurt am Main repräsentiert eine Branche, die sich dank stabiler Nachfrage und steigender Exporte erfolgreich im europäischen und internationalen Wettbewerb behauptet. Mit einem Umsatzvolumen von mehr als 4,5 Milliarden Euro steht die deutsche bauchemische Industrie klar an der Spitze dieses Wirtschaftszweiges in Europa. Hier beginnen die Parallelen zu Nanotechnologien – denn auch in diesem Wissenschaftszweig ist Deutschland führend in Europa – gemessen an den Ausgaben für Forschung und Entwicklung sowie an der Zahl der beteiligten Firmen und Forschungsinstitute; derzeit sind hierzulande ca. 600 Unternehmen mit der Entwicklung, Anwendung und dem Vertrieb nanotechnischer Produkte befasst; ca. 50.000 Arbeitsplätze hängen an nanotechnischen Entwicklungen.

Eine zweite Parallele zwischen Bauchemie und Nanotechnologien ergibt sich mit Blick auf das Innovationspotenzial beider Bereiche – denn sie gelten jeweils als äußerst zukunftsweisend. Die kontinuierliche Neu- und Weiterentwicklung von Bauverfahren mit den zugehörigen Bauprodukten durch die Bauchemie verbessert die ökonomische Situation der Bauwirtschaft insgesamt. Nanotechnologien haben daran einen in den letzten Jahren weiter zunehmenden Anteil. Dies hängt mit der Geschwindigkeit der Entwicklungsprozesse bei Materialien und Verfahren zusammen. Das Bauen wandelt sich, es entstehen immer neue Werkstoffe mit ganz speziellen Eigenschaften und definierten Einsatzbereichen. Vorgaben von Anwenderseite müssen erfüllt werden. Dabei geht es oft um Langlebigkeit, Flexibilität in der Nutzbarkeit, Energiesparsamkeit im Betrieb und Wiederverwertbarkeit. Hier wirken in verschiedenen Teilbereichen Bauchemie und Nanotechnologien gemeinsam: Ultrahochfester und damit langlebiger Beton, Wärmedämmstoffe, Baustoffe mit selbstreinigenden oder photokatalytischen Oberflächen etwa sind High-Tech-Werkstoffe, in denen Nanotechnologien stecken.

Die vorteilhaften Eigenschaften der hieraus entwickelten Endprodukte kommen nicht nur dem Neubau zugute, sondern spielen in zunehmendem Maße eine Rolle bei der Sanierung, Modernisierung und Instandsetzung von Gebäuden und Ingenieur-Bauwerken. Konkrete Beispiele für das Zusammenspiel von Bauchemie und Nanotechnologien sind

- Photokatalytische Beschichtungen für Gebäudefassaden
- Fassadenbausysteme mit nanostrukturierten Wärmedämmstoffen
- Betonwerkstoffe, Betonzusatzmittel
- Zementäre Mörtel zur Verlegung keramischer Beläge
- Nanokomposit-Bindemittel für Fassadenfarben
- Neuartige Brandschutzmittel

DEUTSCHE BAUCHEMIE ^{EV}

KONTAKT

www.deutsche-bauchemie.de

- Deutsche Bauchemie
Karlstraße 21
60329 Frankfurt am Main
Telefon 069 2556-1318
Telefax 069 251609
info@deutsche-bauchemie.de

Verband der deutschen Lackindustrie e.V.

Die Nanotechnologien als Querschnittstechnologien werden auch für die Formulierung und Anwendung von Lacken und Farben im Bereich der Bautenanstrichmittel neue Anwendungsfelder eröffnen. Nanotechnologische Verfahren oder Nanomaterialien helfen dabei, in drei Bereichen neue Produkte marktfähig zu machen.

- Nanotechnologien verbessern bereits bestehende Produkte oder die Eigenschaften von Lacken und Farben. Ein Beispiel hierfür wäre die höhere Kratzfestigkeit von Beschichtungen.
- Die Produkteigenschaften bestehender Beschichtungsmaterialien werden um neue Eigenschaften erweitert. Ein Beispiel hierfür wäre die Eigenschaft Selbstreinigung der Oberfläche.
- Neue Beschichtungsstoffe mit Eigenschaften, die bislang nicht mit Lacken und Farben erreicht werden konnten, werden möglich. Ein Beispiel hierfür sind farbveränderliche Lacke mit einem „Chamäleon-Effekt“.



Verband der
deutschen
Lackindustrie e.V.

KONTAKT

www.lackindustrie.de

- Verband der deutschen Lackindustrie e.V.
Karlstraße 21
60329 Frankfurt am Main
Telefon 069 2556-1411
Telefax 069 2556-1358
vdl@vci.de

Im Bereich der Bautenanstrichmittel sind gegenwärtig folgende Produktklassen marktgängig:

- Fassadenfarben mit Selbstreinigung (sogenannter Lotuseffekt)
- Antibakterielle Farben mit nanoskaligen Silberpartikeln als Wirkstoff
- Photokatalytische Wandfarben (mit Titandioxid in Nanoform)
- Hochkratzfeste Parkettversiegelungen (mit Eisenteilchen in Nanoform)

Ein hohes Zukunftspotenzial wird bei Nanomaterialien mit Phasenwechseleigenschaften gesehen, da hier wärmedämmende Lacke und Farben entwickelt werden können, die bei Gebäuden zum Einsatz kämen, für die eine herkömmliche Wärmedämmung nicht möglich ist. Auch Beschichtungsstoffe, die Nanoteilchen für den UV-Schutz einsetzen, könnten kurzfristig auf den Markt kommen. Längerfristige Projekte sind sicherlich in Lacken zu sehen, die elektrisch leitfähig sind oder sogar zur Erzeugung von elektrischem Strom geeignet wären. Insgesamt gesehen setzt die deutsche Lackindustrie große Hoffnungen in die Nanotechnologien, um hier neue Produkte auf den Markt zu bringen bzw. herkömmliche Produkte in ihren Eigenschaften zu verbessern. Auch Umweltentlastungseffekte sind durch die neue Technologie möglich. Allerdings ist die Forschung auf diesem Technologiefeld sehr ressourcenaufwändig, was insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen stellt. Deshalb ist eine Forschungsförderung - insbesondere beim Thema Stoffeigenschaften und Sicherheitsforschung - unumgänglich, damit dieses Technologiefeld möglichst kurzfristig erschlossen werden kann.

Verein Deutscher Zementwerke e.V.

Der Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) ist die technisch-wissenschaftliche Vereinigung der deutschen Zementindustrie. Er fördert Technik und Wissenschaft – einschließlich Forschung und Entwicklung – auf dem Gebiet der Herstellung und Anwendung hydraulischer Bindemittel. Dem VDZ gehören zurzeit 24 deutsche Zementunternehmen mit 56 Zementwerken als ordentliche Mitglieder sowie 32 ausländische Zementunternehmen als außerordentliche Mitglieder an.

Zement ist als hydraulisches Bindemittel der „Klebstoff“, der in Mörtel oder Beton die Gesteinskörnungen (Sand und / oder Kies) fest und dauerhaft miteinander verbindet. Obwohl Bindemittel bereits seit Jahrtausenden genutzt werden und der Ursprung des Wortes „Zement“ auf das altrömische „opus cementitium“ zurückgeht, gilt erst das Jahr 1824 als das Geburtsjahr des modernen Portlandzements. Seitdem wurden in über 180 Jahren Baustoffforschung viele neue Erkenntnisse gewonnen. Allerdings standen in der Vergangenheit häufig vor allem die makroskopischen Eigenschaften, wie beispielsweise die Druckfestigkeit der Bindemittel, im Fokus der Forscher. Zudem wurden viele Ergebnisse eher empirisch ermittelt. Die grundlegenden Reaktionen und Mechanismen konnten häufig nicht aufgeklärt werden. Nach dem Mischen von Zement mit Wasser bilden sich nano- bis mikrokristalline Reaktionsprodukte, die im Laufe der Zeit eng miteinander verwachsen. Aus der Morphologie und dem Gefüge dieser sogenannten Hydratphasen resultieren die makroskopischen Eigenschaften des Baustoffs. Mit Hilfe neuer technologischer Entwicklungen der letzten Jahre ist es mittlerweile möglich, die Vorgänge beim Erhärten von Zementleim auf Nano-Ebene zu beobachten und zu verstehen. Damit eröffnen sich ganz neue Möglichkeiten einer Baustoff-Optimierung im Nano-Maßstab. Die gezielte Steuerung der Hydrationsreaktionen ermöglicht der Zementindustrie entscheidende technische Verbesserungen. Das „Design“ von Bindemitteln und Zusätzen soll neue Anwendungsfelder für Baustoffe erschließen. Beispielsweise sollen Polymere zur Verbesserung der Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Langzeiteigenschaften von Betonprodukten weiterentwickelt bzw. optimiert werden. Außerdem sollen durch spezielle Zusätze betonschädigende Reaktionen im Zementstein verhindert werden. Hierzu ist es notwendig, die Mechanismen solcher Reaktionen im Oberflächenbereich der Hydratationsprodukte zu verstehen.

Eine Fortsetzung dieser Entwicklungen können Baustoffe sein, bei denen Nanopartikel im Betongefüge zur Erhöhung der Festigkeiten oder zur Herstellung von Betonoberflächen mit speziellen Eigenschaften genutzt werden.

Die genannten Beispiele sind Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung der Nachhaltigkeit des Bindemittels Zement und des Baustoffs Beton. Hierbei werden die Nanotechnologien eine entscheidende Rolle spielen. Die deutsche Zementindustrie und der VDZ beteiligen sich aktiv an entsprechenden Forschungsprojekten, beispielsweise im Rahmen des europäischen Forschungskonsortiums „NANOCEM“.



KONTAKT

www.vdz-online.de

- Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Postfach 301063
40410 Düsseldorf
Telefon 0211 4578-1
Telefax 0211 4578-296
info@vdz-online.de

Der Rat für Formgebung / Material Vision

Der Rat für Formgebung / German Design Council wurde 1953 auf Beschluss des Deutschen Bundestags ins Leben gerufen, um dem wachsenden Informationsbedarf der Wirtschaft zum Thema Design zu entsprechen. Heute gehört er zu den weltweit führenden Kompetenzzentren für Kommunikation und Wissenstransfer im Bereich Design. Mit Wettbewerben, Ausstellungen, Konferenzen, Beratungsleistungen, Recherchen und Publikationen öffnet er für Vertreter der Wirtschaft und der Gestaltungsdisziplinen neue Horizonte.

Dem Stifterkreis des Rates für Formgebung gehören heute über 140 der bedeutendsten deutschen Unternehmen an.

Die Material Vision, Fachmesse und Konferenz zum Thema Materialien für Produktentwicklung, Design und Architektur, wurde im Jahr 2003 von der Messe Frankfurt und ihrem Partner, dem Rat für Formgebung, ins Leben gerufen. Die Fachmesse zeigt moderne Materialien und Materialtechnologien im Vorproduktstadium und richtet sich gezielt an Produktentwickler, Industriedesigner und Architekten. Im Rahmen der Konferenz diskutieren Designer und Architekten von Weltrang die aktuellsten Materialtrends in Produktentwicklung und Architektur. 2007 fand die Material Vision (22./23. November 2007) erstmals parallel zu den Veranstaltungen Nanotechnologieforum Hessen und NanoSolutions - europäische Leitmesse für Nano-Anwendungen statt. Unter dem Titel „nanotech+material week frankfurt“ bieten diese drei Events eine einzigartige Plattform für Hersteller, Entwickler und potenzielle Anwender von Nanotechnologien und neuen Materialien.



Rat für Formgebung
German Design Council

materialvision

Frankfurt am Main
22.-23. November 2007

KONTAKT

www.german-design-council.de

- Rat für Formgebung / German Design Council
Dependance / Messegelände
Ludwig-Erhard-Anlage 1
60327 Frankfurt am Main
Telefon 069 747486-0
Telefax 069 747486-19
info@german-design-council.de

KONTAKT

www.nanotech-material-week.com

www.material-vision.messefrankfurt.com

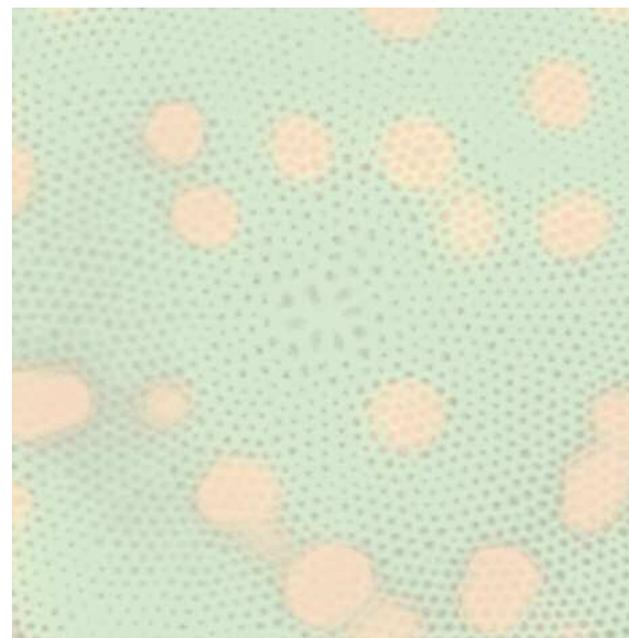
- Messe Frankfurt Exhibition GmbH
Ludwig-Erhard-Anlage 1
60327 Frankfurt am Main
Telefon 069 7575-6290
Telefax 069 7575-96290
anja.diete@messefrankfurt.com
- Büro Nicola Stattmann
Teichstraße 5a
60594 Frankfurt am Main
Telefon 069 43054601
Telefax 069 15349292
office@nicolastattmann.com
www.nicolastattmann.com

Den Nanotechnologie werden im Produktdesign und in der Produktentwicklung ein hohes Innovationspotenzial zugetraut. Dies gilt zum einen für Nano-Beschichtungen mit Eigenschaften wie easy to clean (Lotuseffekt), kratzfest, magnetisch, antistatisch, bakterienhemmend etc., die bereits in vielen Bereichen Anwendung finden. Wenige μm dünne transparente Beschichtungen verleihen Produkteigenschaften, die bisher nicht denkbar waren bzw. einen enormen Material-, Gewichts-, Energie- oder Kostenaufwand bedingt hätten. Kunststoff besitzt mittlerweile eine Kratzfestigkeit wie Keramik, Holz ist magnetisch, an Papier gleitet der Schmutz ab. Für die Produktentwicklung sind Nano-Beschichtungen interessant, da einfache, kostengünstige oder empfindliche Materialien mit hochwertigen, langlebigen oder physikalischen Eigenschaften ausgestattet werden können. Produkte und Materialien, die durch Nano-Beschichtungen nachträglich mit „Eigenschaften nach Maß“ modifiziert oder funktionalisiert werden, bieten hervorragende Möglichkeiten, die sehr genau analysiert und eingesetzt werden müssen. „Nano um jeden Preis“ wird der Verbraucher unserer Meinung nach nicht akzeptieren – denn es ist bekannt, dass die ökologischen Risiken noch nicht eingeschätzt werden können. Vor allem jedoch werden in der Produktentwicklung große Veränderungen durch die Funktionswerkstoffe aus Nano-Partikeln erwartet. Derzeit beschäftigt man sich in der Forschung mit Funktions-Flüssigkeiten und -Pasten, die auf Folien oder Papier gedruckt werden können (Polytronik). So entstehen einfache Schaltkreise, Antennen, Sensoren, Aktoren etc., die zum Beispiel als RFID-Chips eingesetzt werden.

Wenn zukünftig diese Funktions-Pasten langlebiger und leistungsstärker werden, besteht die Möglichkeit, auch komplexe Systeme und hochwertige Produkte daraus herzustellen. Sie stellen gänzlich neue Lösungsansätze für die immer wichtiger werdenden Themen Leichtbau, Miniaturisierung, Funktionsintegration, Energieeffizienz und Ökologie dar.

Die Anforderungen des Produktdesigns an die Nanotechnologien sind:

- Nachgewiesene ökologische und gesundheitliche Unbedenklichkeit bzw. Nutzung – ohne diese die Nanotechnologien unverantwortlich und nur bedingt Akzeptanz finden würde
- Entwicklung von leistungsfähigeren Werkstoffen für die Herstellung von komplexen und langlebigen Anwendungen
- Herstellung und Nutzung dieser Werkstoffe auch für hochwertige Kleinserien



8 Anhang

8.1 Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Hessen

Unternehmen (Auswahl*)

Alfred Clouth Lackfabrik GmbH & Co. KG	Ducon GmbH
Otto-Scheugenpflug-Straße 2 63073 Offenbach am Main Telefon 069 89007-0, Fax -143 info@clou.de, www.clou.de	Farmstraße 118 64546 Mörfelden-Walldorf Telefon 06105 27-5831, Fax -5832 info@ducon.de, www.ducon.de
Produkte: Antimikrobieller Holzklarlack auf Basis der Nanosilber-Technologie	Produkte: Hochfeste duktile Stahlbetone
CAPAROL Farben Lacke Bautenschutz GmbH	Dyckerhoff AG
Address Roßdörfer Straße 50, Industriegebiet 1 64372 Ober-Ramstadt Telefon 06154 71-0, Fax -1391 info@caparol.de, www.caparol.de	Biebricher Straße 69 65203 Wiesbaden Telefon 0611 676-0, Fax -40 Info@dyckerhoff.com, http://www.dyckerhoff.de
Produkte: Photokatalytische Wandfarben auf Basis von Titandioxidnanopartikeln	Produkte: Zement, Beton
Cabot Nanogel GmbH	Elementbau Osthessen GmbH und Co., ELO KG
Industriepark Höchst, D660 65926 Frankfurt am Main Telefon 069 305-29331, Fax -22103 info@cabot-corp.com, www.nanogel.com	Am Langen Acker 1 36124 Eichenzell Telefon 06659 83-0, Fax -50 info@elo-beton.de, www.elo-beton.de
Produkte: Aerogelmaterial für transluzente Fassadenisolierung	Produkte: Bauelemente aus ultrahochfestem Beton
De Cie GmbH	Evonik Röhm GmbH
Homburger Landstraße 148 A 60435 Frankfurt am Main Telefon 069 954302-0, Fax -23 info@decie.de, www.decie.de	Kirschenallee 64293 Darmstadt Telefon 06151 18-01, Fax -02 methacrylates@evonik.com, www.plexiglas.de
Produkte: Nanobeschichtungen und Versiegelungen für diverse Baustoffe	Produkte: Nanopartikel als transparente Wärmeabsorber in Plexiglas-Verglasungen

* ohne Anspruch auf Vollständigkeit

FRANZ CARL NÜDLING Basaltwerke GmbH + Co. KG

Ruprechtstraße 24
36037 Fulda
Telefon 0661 8387-0, Fax -270
fcn.holding@nuedling.de, www.nuedling.de

Produkte: Photokatalytisch ausgerüstete
Pflastersteine (Airclean®)

Geohumus International GmbH & Co. KG

Vilbeler Landstraße 17-19
60386 Frankfurt am Main
Telefon 069 408037-71, Fax -73
wb@geohumus.com, www.geohumus.com

Produkte: Nanotech basierte Substrate zur
Wasserspeicherung z. B. für die
Begrünung von Dächern, Lärmschutz-
wänden, Außenanlagen, etc.

HOCHTIEF Construction AG

Consult Materials
Farmstraße 91-97
64546 Walldorf-Mörfelden
Telefon 06105 7001-130, Fax 0201 824-99118
claus.flohrer@hochtief.de, www.hochtief-consult.de

Produkte: Betontechnologie

Merck KGaA

Frankfurter Straße 250
64293 Darmstadt
Telefon 06151 72-0, Fax -2000
service@merck.de, www.merck.de

Produkte: Antireflexbeschichtungen für
Solar- und Architekturglas

nanoplan GmbH

Bunsenstraße 5
64347 Griesheim
Telefon 06155 824-211, Fax -312
info@nanoplan.eu, www.nanoplan.eu

Produkte: Bindemittel

Natepro Produktion & Vertriebsgesellschaft mbH

Eichenweg 7
36381 Schlüchtern, OT Niederzell
Telefon 06661 607493-0, Fax -19
zentrale@natepro.com, www.natepro.com

Produkte: Nanobeschichtungen und
Versiegelungen für diverse Baustoffe

Rensch-Haus GmbH

Mottener Straße 13
36148 Kalbach
Telefon 09742 91-171, Fax -4171
ch.koett@rensch-haus.com, www.rensch-haus.com

Produkte: Fertighäuser mit nanotechnologischen
Fassadenbeschichtungen

WEILBURGER Coatings GmbH

Ahäuser Weg 12-22
35781 Weilburg
Telefon 06471 315-0, Fax -116
WEILBURGER-Coatings@grebe.de
www.weilburger-coatings.de

Produkte: Nanobeschichtungen und
Versiegelungen für diverse Materialien

Universitäre Forschungsaktivitäten

Technische Universität Darmstadt

Institut für Massivbau

Petersenstraße 12
64287 Darmstadt
Kontakt Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner
Telefon 06151 16-2144, Fax -3044
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de
www.massivbau.tu-darmstadt.de

Forschungsthemen: Selbstverdichtender Beton

Fachbereich Architektur

FG Entwerfen und Energieeffizientes Bauen

El-Lissitzky-Straße 1
64287 Darmstadt
Kontakt Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger
Telefon 06151 16-6544, Fax -5247
hegger@ee.tu-darmstadt.de
www.architektur.tu-darmstadt.de/ee/

Forschungsthemen: Energieeffizientes Bauen,
Projekt „Solar Decathlon“

Justus-Liebig Universität Gießen

I. Physikalisches Institut

Heinrich-Buff-Ring 16
35392 Gießen
Kontakt Prof. Dr. K. Meyer
Telefon 0641 99-33101, Fax -33109
bruno.k.meyer@exp1.physik.uni-giessen.de
http://meyweb.physik.uni-giessen.de

Forschungsthemen: Schaltbares /
selbstschaltendes Glas

Universität Kassel

Institut für konstruktiven Ingenieurbau

FG Werkstoffe des Bauwesens

Mönchebergstraße 7
34125 Kassel
Kontakt Prof. Dr. M. Schmidt
Telefon 0561 804-2601, Fax -2662
m.schmidt@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/fb14/baustoffkunde

Forschungsthemen: Ultrahochfester Beton

Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik

FG Technische Elektronik

Heinrich-Plett-Straße 40
34132 Kassel
Kontakt Prof. Dr. H. Hillmer
Telefon 0561 804-4885, Fax -4488
hillmer@ina.uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/fb16/te/start.shtml

Forschungsthemen: Innovative Lichtlenksysteme
auf der Basis von Mikrospiegel-
arrays

Universität Marburg

Fachbereich Chemie, Makromolekulare Chemie

Hans-Meerwein-Straße
35032 Marburg
Kontakt Prof. Dr. A. Greiner
Telefon 06421 2825-777, Fax -785
greiner@staff.uni-marburg.de
www.chemie.uni-marburg.de/akgreiner

Forschungsthemen: Nanofasern durch Elektrosponning

Fachhochschule Frankfurt am Main

Fachbereich 2 Bioverfahrenstechnik

Nibelungenplatz 1
60318 Frankfurt am Main
Kontakt Prof. Dr. Werner Liedy
Telefon 069 1533-2289, Fax -2387
liedy@fb2.fh-frankfurt.de

Forschungsthemen: Formulierung von
Photokatalysatoren

8.2 Internetlinks

- Aktionslinie Hessen-Nanotech
www.hessen-nanotech.de
- HA Hessen Agentur GmbH
www.hessen-agentur.de
- TTN-Hessen
www.ttn-hessen.de
- BMBF Nanotechnologieförderung
www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php
- Nanotechnologieportal der VDI TZ GmbH
www.nanonet.de
- Deutscher Nanotechnologie Kompetenzatlas
www.nano-map.de
- Wissenschaftskommunikation Nanotechnologie
www.nanotruck.de, www.nanoreisen.de
- Risikoforschung und -kommunikation
www.nanotech-hessen.de/infoplattform-nanorisiken
www.nanopartikel.info, www.dialog-nanopartikel.de
- High-Tech-Gründerfonds
www.high-tech-gruenderfonds.de
- Europäisches Nanotechnologie-Portal
www.nanoforum.org
- Nanotechnologieförderung der EU
www.cordis.lu/nanotechnology

8.3 Broschüren und Fachliteratur

- **Bartos, P. J. M. et al.:** "Nanotechnology in Construction", Royal Society of Chemistry; 1 edition, ISBN: 978-0854046232 (2004)
- **BMBF:** „Nanotechnologie - Innovationen für die Welt von morgen“ Herausgeber: BMBF, Bonn, Berlin, 2006
- **BMBF:** „Nanotechnologie erobert Märkte - Deutsche Zukunftsinitiative für Nanotechnologie“, Herausgeber BMBF, Bonn, Berlin, 2004
- **BMBF:** „Nano-Initiative - Aktionsplan 2010“, Herausgeber BMBF, Bonn, Berlin, 2006
- **Brameshuber, W.:** „Auf dem Weg zur Nanotechnologie im Bauwesen - Grundlage für Innovationen“, in Beton- und Stahlbetonbau Jg.: 100, Nr. 8, S. 723-727 2005
- **Hillemeier, B.:** „Das Bauen revolutionieren. Innovatives Planen und Bauen / Nano- und Makrotechnologie“, Österreichische Bauzeitung, Nr. 36, S. 36-42, 2003
- **Luther, W.:** „Nanotechnologie im Bauwesen“ Deutsche Bauzeitung, 01 / 06, S. 66-71, 2006
- **VDI TZ:** „Anwendung der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen“, Ergebnisse der Fachtagung Nanotecture 2006 am 24.1.2006 im VDI, Düsseldorf, Schriftenreihe Zukünftige Technologien ISSN 1436-5928, April 2006
- **VDI TZ:** „Kommerzialisierung der Nanotechnologie“, Schriftenreihe Zukünftige Technologien ISSN 1436-5928, Juni 2006
- **VDI TZ:** „Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt“, Schriftenreihe Zukünftige Technologien ISSN 1436-5928, November 2004
- **Mann, S.:** "Nanotechnology and Construction", Nanoforum Report, (www.nanoforum.org), November 2006

Schriftenreihe

der Aktionslinie **Hessen-Nanotech** des
Hessischen Ministeriums für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung

**Band 1 Einsatz von Nanotechnologie in
der hessischen Umwelttechnologie**
Innovationspotenziale für Unternehmen

Band 2 Nanomedizin
Innovationspotenziale in Hessen
für Medizintechnik und
Pharmazeutische Industrie

Band 3 Nanotechnologie im Auto
Innovationspotenziale in Hessen für
die Automobil- und Zuliefer-Industrie

Band 4 NanoKommunikation
Leitfaden zur Kommunikation von
Chancen und Risiken der Nanotechno-
logien für kleine und mittelständische
Unternehmen in Hessen

**Supplement zum Leitfaden
NanoKommunikation**
Innovationsfördernde Good-Practice
Ansätze zum verantwortlichen Umgang mit
Nanomaterialien

**Band 5 Nanotechnologien für
die optische Industrie**
Grundlage für zukünftige
Innovationen in Hessen

Band 6 NanoProduktion
Innovationspotenziale für hessische
Unternehmen durch Nanotechnologien
im Produktionsprozess

**Band 7 Einsatz von Nanotechnologien
in Architektur und Bauwesen**

Band 8 NanoNormung
Normung im Bereich der
Nanotechnologien als Chance
für hessische Unternehmen

**Band 9 Einsatz von Nanotechnologien
im Energiesektor**

Informationen / Download / Bestellungen:
www.hessen-nanotech.de

Hessen

Nanotech

www.hessen-nanotech.de

VDI

Technologiezentrum

Projekträger der Aktionslinie **Hessen-Nanotech**
des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH